



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - UniCEUB**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - FATECS**

**LORENA VIANA FERREIRA**

**CONCRETO E GRAUTE ESTRUTURAIS PRODUZIDOS COM  
AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Brasília  
2013

LORENA VIANA FERREIRA

**CONCRETO E GRAUTE ESTRUTURAIS PRODUZIDOS COM  
AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado  
como um dos requisitos para a conclusão  
do curso de Engenharia Civil da  
Faculdade de Tecnologia e Ciências  
Sociais Aplicadas (FATECS) do Centro  
Universitário de Brasília (UniCEUB).  
Orientador: Prof. William Oliveira Bessa

Brasília  
2013

LORENA VIANA FERREIRA

**CONCRETO E GRAUTE ESTRUTURAIS PRODUZIDOS COM  
AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado  
como um dos requisitos para a conclusão  
do curso de Engenharia Civil da  
Faculdade de Tecnologia e Ciências  
Sociais Aplicadas (FATECS) do Centro  
Universitário de Brasília (UniCEUB).  
Orientador: Prof. William Oliveira Bessa

Brasília, 05 de Dezembro de 2013

**Banca Examinadora**

---

Eng.º Civil: William Oliveira Bessa, D.Sc.  
Orientador

---

Eng.ª Civil: Irene de Azevedo Lima Joffily, M.Sc.  
Examinador Interno

---

Eng.ª Civil: Luciana Nascimento Lins, M.Sc.  
Examinador Externo, Universidade Católica de Brasília (UCB)

Dedico este trabalho ao ser humano mais íntegro, determinado e incrível que conheço: à minha mãe, Valéria Cristina Viana. Você é minha força, minha luz, minha saúde, minha determinação e minha vontade de ser cada dia melhor. Obrigada por me fazer sentir a filha mais especial e completa nesses 22 anos. Este trabalho e todas as demais conquistas de minha vida sempre serão dedicados a você. Te amo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço este trabalho a Deus que esteve ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

A minha mãe Valéria Cristina Viana, grande incentivadora da minha carreira acadêmica, retribuo todo amor, companheirismo, confiança e apoio que foram fundamentais para elaboração deste trabalho.

A minha tia Carlota Barrionuevo Martin por ser minha segunda mãe e anjo da guarda de minha família, nos ensinando a ser cada dia melhores e me apoiando de todas as formas possíveis para que esse trabalho fosse concluído.

Aos meus avós Osvaldo Vianna que me aplaude lá do céu e Victória Barrionuevo Vianna por possuírem meu amor mais puro, verdadeiro e sincero e por terem sempre as palavras mais sinceras nos momentos mais difíceis.

Ao meu tio Osvaldo Luiz Vianna por todo amor, incentivo e por sempre acreditar em meu potencial acadêmico, muitas vezes até mais do que eu e por me fornecer primos que considero como irmãos.

Aos meus tios Marco Vianna, Vilma Vianna e Cláudia Vianna, por completarem meu coração todos os dias fazendo parte de minha vida e de meu equilíbrio que denomino felicidade, fornecendo primos maravilhosos e que fazem parte de mim.

Aos meus tios de coração Edo Freitas e Edilene Freitas, por terem me adotado como sobrinha com tanto carinho, me fazendo sentir tão especial por ser prima do Edo Augusco Freitas e por me apoiarem sempre em todas as decisões. Vocês fazem parte de mim, de minha história e de minha vida, obrigada por tudo.

Ao Prof. William Oliveira Bessa, orientador que se tornou um grande amigo, agradeço por sua impecável atenção, valiosa orientação e pelas contribuições durante o desenvolvimento deste trabalho. Sem seu apoio nada disso teria sido possível, muito obrigada.

A todos os funcionários, que foram verdadeiros companheiros durante um ano inteiro de atividades no laboratório. Muito obrigada Elizio, Régis e Vanilson.

A Prof. Irene Joffily pelas informações e conhecimento prestados para realização dos ensaios laboratoriais desse trabalho e durante minha vida acadêmica.

Ao Prof. Jairo Furtado Nogueira pelo apoio na pesquisa, pelas informações e conhecimentos prestados durante esse trabalho e durante minha vida acadêmica.

A Prof. Maruska Silva pelo apoio dado durante a produção deste trabalho, pelas informações e conhecimentos prestados e durante minha vida acadêmica.

A todos os colegas de vida e de graduação, em especial a Alex Torres, Camila Lincoln, Danyele Soares, Elias Mokdissi, Fernanda Amador, Gabriela de Paula Coutinho, Guilherme Fiori, Henrique Maciel e Luis Gustavo Nogueira, obrigada pela amizade sincera e por todo apoio e bons momentos que compartilhamos juntos.

A empresa Areal Bela Vista pelo fornecimento dos agregados de resíduos de construção e demolição e pelo apoio do amigo Pedro Câmara, por ter sido tão atencioso.

A empresa BASF S/A pelo fornecimento gratuito de materiais para que fosse possível a realização de alguns ensaios laboratoriais e pelo impecável atendimento.

A empresa Vedacit/ Otto Baumgart pelas informações prestadas para que fosse possível realizar alguns ensaios laboratoriais.

## RESUMO

A expansão econômica do país experimentada nos últimos anos tem como consequência o desenvolvimento da construção civil. As obras de médio e grande porte despejam Resíduos Sólidos de Construção e Demolição (RSCD) em elevada quantidade nos lixões (acréscimo no volume de entulhos), com consequências desfavoráveis no ecossistema da região e consequente aumento nos gastos públicos. Com o advento da resolução 307 de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que entrou em vigor em 2 de Janeiro de 2003, foram implementadas diretrizes para efetivas reduções nos impactos ambientais. No sentido de minimizar estes efeitos e com as restrições ambientais impostas, cada vez mais estudos que envolvem o reaproveitamento de alguns destes materiais em obras de construção civil têm sido desenvolvidos, incluindo também as fases de especificação e elaboração de projetos. O presente trabalho tem como objetivo o aproveitamento de materiais provenientes de resíduos sólidos da construção civil para a utilização em elementos estruturais de concreto armado. A metodologia consistiu na análise e caracterização dos agregados graúdos e miúdos de RSCD de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), elaboração de traços, ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova e comparação com concretos e grautes, com a utilização de agregados convencionais (referência). Os resultados encontrados permitem afirmar que concretos e grautes obtidos a partir de RSCD podem ser utilizados para fins estruturais.

Palavras-Chave: Resíduos de construção e demolição. Reciclagem. Concreto. Graute.

## **ABSTRACT**

Brazilian economic expansion during recent years has brought about the development of civil construction. Medium and large construction sites produce large quantities of construction and demolition solid residues, which are then discarded in dumping sites, causing an increase in the volume of waste, with harmful results to the ecosystem, consequently increasing public expenditure. Resolution 307 (2002) of CONAMA (National Council on Environment), which came about on January 02, 2003, issued directives for reduction of environmental impacts. In order to minimize such effects and under the restrictions imposed, more and more research has been developed, aiming at the reutilization of those materials in construction projects, including specification and elaboration. This study intends to promote the reutilization of materials originating from solid civil construction for use in structural elements of reinforced concrete. The methodology consisted in the analysis and characterization of large and small aggregates (SRCD), in accordance with the rules of the Brazilian Association of Technical Norms (ABNT), development of traits, compression tests of specimens and comparison of strength with concrete reference. The results obtained allow us to affirm that concrete and graut obtained from SRCD can be utilized for structural purposes.

Key words: Construction and demolition residues. Recycling. Concrete. Graut.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE especiais	Associação Brasileira de empresas de Limpeza Pública e Resíduos especiais
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de resíduos da Construção Civil e Demolição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/C	Água/cimento
CAA	Concreto auto-adensáveis
CAD	Concreto de alto desempenho
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de prova
CP's	Corpos de prova
Eci	Módulo de elasticidade tangente inicial do concreto
fck	Resistência à compressão característica do concreto, 28 dias de idade
GPa	Gigapascal
GRvp	Agregado graúdo reciclado de resíduos da vibroprensagem dos blocos
MPa	Megapascal
M.F.	Módulo de Finura
NBR	Norma Brasileira
PRFC	Polímero Reforçado com Fibras de Carbono
RSCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos
s.p.c	Sobre o peso do cimento
t/ano	Tonelada produzida por ano
UnICEUB	Centro Universitário de Brasília

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Considerações Iniciais.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Objetivos e Metodologia .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Descrição dos Capítulos .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Considerações Gerais .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Classificação e geração de RSCD .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Causa da geração de RSCD .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Composição do RSCD .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Granulometria .....</b>	<b>27</b>
<b>2.6 Absorção de água .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7 Massa específica .....</b>	<b>33</b>
<b>2.8 Propriedade dos concretos e grautes confeccionados com agregados de RSCD .....</b>	<b>37</b>
<b>2.8.1 Consistência .....</b>	<b>37</b>
<b>2.8.2 Resistência à compressão .....</b>	<b>40</b>
<b>2.8.3 Módulo de elasticidade .....</b>	<b>44</b>
<b>2.8.4 Concreto e graute confeccionados com agregados reciclados com adição de aditivos .....</b>	<b>46</b>

<b>2.9 Concreto e grautes com RSCD empregados na recuperação de elementos estruturais .....</b>	<b>47</b>
<b>2.9.1 Técnicas de recuperação .....</b>	<b>48</b>
<b>2.9.2 Reparo com concreto convencional .....</b>	<b>49</b>
<b>2.9.3 Reparo com concreto projetado .....</b>	<b>50</b>
<b>2.9.4 Reparo com graute .....</b>	<b>52</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 Materiais utilizados .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.1 Cimento .....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.2 Cal .....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.3 Aditivo que substitui a cal.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.4 Agregados .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.4.1 Granulometria .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.4.2 Absorção de água .....</b>	<b>68</b>
<b>3.1.4.3 Massa específica e massa unitária .....</b>	<b>70</b>
<b>3.1.5 Aditivo hiperplastificante .....</b>	<b>71</b>
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 Concreto .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2 Graute .....</b>	<b>80</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
<b>5.1 Resistência à compressão .....</b>	<b>90</b>

<b>5.1.1 Concreto .....</b>	<b>92</b>
<b>5.1.2 Graute .....</b>	<b>97</b>
<b>5.2 Módulo de elasticidade .....</b>	<b>103</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>105</b>
<b>6.1 Sugestão para trabalhos futuros .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>108</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

Os recursos naturais vêm se tornando foco de discussão em diversos segmentos da sociedade, principalmente os que se referem à operação e destinação dos resíduos de construção e demolição. Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, esses resíduos devem ter seu volume reduzido ou reutilizado na cadeia produtiva.

Neste sentido, é responsabilidade da indústria da Construção Civil, bem como de todos os profissionais envolvidos, promover a conscientização e implementar esforços no sentido de reduzir tais impactos na cadeia produtiva. No enfrentamento desta questão, a destinação dos resíduos de construção e demolição é sem dúvida um dos elementos mais problemáticos da cadeia produtiva desse segmento.

O aproveitamento dos Resíduos de Construção e Demolição (RSCD) ameniza os efeitos da degradação do meio ambiente e da escassez de matéria-prima, visto que a utilização desse material reduz os efeitos de sua deposição na natureza e a retirada de agregados em estado natural, processo este que gera grandes impactos no meio ambiente.

O início da utilização dos RSCD ocorreu nos pós-guerra, na década de 1940, na Europa, onde centros urbanos foram total ou parcialmente destruídos. A grande massa de escombros e a falta de espaço a ser utilizado como depósito para os agregados trouxe a ideia e a oportunidade de utilização dos RSCD proporcionando a consequente redução do uso dos agregados naturais. No Brasil, ainda é baixa a utilização de processos de reciclagem dos RSCD, aproveitando-se atualmente menos de 10% dos resíduos gerados.

Entretanto, as diferenças entre as propriedades dos agregados reciclados e naturais representam um empecilho imediato à sua utilização, principalmente no que se refere à confiabilidade dos mesmos em aplicações de maior valor agregado, como é o caso de concretos voltados para a aplicação na execução de elementos e recuperação estrutural.

Outro aspecto que dificulta o uso dos agregados reciclados em concretos de média e alta resistência é a sua variabilidade, principalmente a dos agregados graúdos, consequência da variabilidade da composição e do próprio processo de

beneficiamento dos RSCD. Dessa forma, os agregados graúdos e miúdos provenientes de RSCD tendem a apresentar maior variação em suas propriedades, além de serem menos trabalháveis, menos resistentes, mais deformáveis (menor módulo de elasticidade), mais porosos e mais permeáveis.

Grande parte dos estudos recentes desenvolvidos no Brasil consideram a utilização de agregados reciclados apenas como substituto de parte do agregado miúdo e/ou graúdo, de forma a não afetar as propriedades e o desempenho do concreto.

## **1.2 Objetivos e Metodologia**

O presente trabalho tem como objetivo o estudo do aproveitamento de materiais provenientes de resíduos sólidos da construção civil para a reutilização em elementos estruturais de concreto armado, além de compostos (grautes) voltados para a utilização na recuperação estrutural.

No caso de agregados, além de suas características físicas, como volume, tamanho e distribuição de poros, a porosidade do agregado afeta diretamente as propriedades do concreto e do graute. Por isto, torna-se fundamental a metodologia de análise e caracterização dos agregados miúdos e, principalmente, dos agregados graúdos, de acordo com as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tais como:

- Absorção;
- Massa específica e massa unitária;
- Granulometria;
- Módulo de elasticidade.

A resistência mecânica dos corpos de prova de concreto e de grautes elaborados com traços constituídos, em total substituição por agregados provenientes de RSCD, foram comparados com os respectivos traços de referência, constituídos de agregados miúdos e graúdos convencionais.

Tendo em vista a necessidade de uma alta resistência à compressão destes compostos quando empregados em elementos estruturais de concreto armado, além da necessidade eventual do atendimento de algumas características específicas,

tais como elevada resistência inicial e aumento da fluidez, foram realizados também traços com aditivo hiperplastificante.

A metodologia empregada no desenvolvimento deste trabalho envolveu abordagens teóricas e experimentais, com as etapas relativas à revisão bibliográfica, obtenção e caracterização dos agregados convencionais e de RSCD, estudo do traço e confecção dos corpos de prova de concreto e graute utilizando agregados de RSCD e análise dos resultados obtidos.

A revisão bibliográfica foi realizada no intuito de aprimorar os principais conceitos relativos à caracterização e comportamento dos agregados constituídos de RSCD. Uma ampla pesquisa bibliográfica abordando aspectos teóricos e experimentais foi desenvolvida para que as investigações experimentais pudessem ser realizadas, com enfoque principal na caracterização dos agregados.

Todo o programa experimental foi realizado no Laboratório de Materiais e Solos do Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), e constituído basicamente das seguintes etapas:

- Estudo e caracterização dos agregados (convencionais e de RSCD);
- Confecção e moldagem de corpos de prova (CPs) de concreto estrutural e grautes
- Obtenção dos resultados por meio de ensaios de compressão dos respectivos CPs.

A comparação dos resultados experimentais teve como objetivo avaliar a proposta do trabalho de obtenção de compostos para fins estruturais (concretos e grautes) utilizando agregados provenientes de RSCD.

### **1.3 Descrição dos Capítulos**

O trabalho desenvolvido dividiu-se em 06 capítulos, abrangendo principalmente os estudos analítico, experimental e comparação dos resultados da resistência de concreto e grautes obtidos com agregados de RSCD.

O Capítulo 1 possui uma breve introdução, com a descrição dos principais objetivos e metodologia adotada.

O Capítulo 2 possui uma ampla revisão bibliográfica, com abordagem focada nos principais trabalhos e aspectos normativos referentes à reutilização de agregados de RSCD em elementos estruturais de concreto armado, além das características de grautes voltados para o emprego na recuperação e reparo estrutural.

No Capítulo 3 é realizada a caracterização dos materiais, principalmente no que se refere a identificação e classificação das propriedades dos agregados de RSCD, além dos demais materiais, com o objetivo principal de fornecer subsídio técnico para a elaboração dos traços de concreto e graute.

O Capítulo 4 descreve o programa experimental, com a definição dos traços, materiais utilizados e procedimentos de ensaios, de forma a atender às normas da ABNT.

O Capítulo 5 apresenta os resultados, apontando os principais fatores que influenciaram nos resultados da resistência à compressão mecânica e módulo de elasticidade dos corpos de prova.

O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões do trabalho e sugestões para o desenvolvimento de futuras pesquisas.



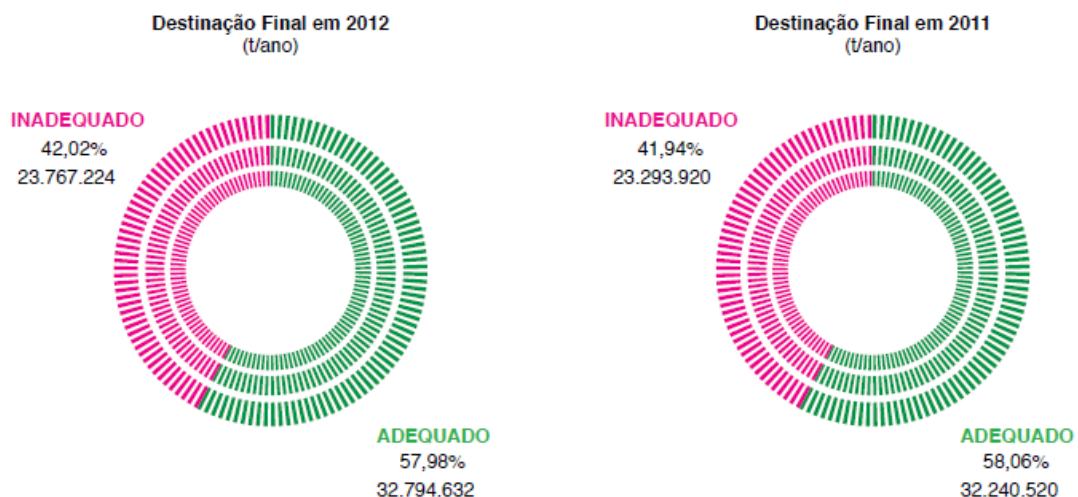
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Considerações Gerais

A pesquisa junto a 401 municípios de todo o Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012), relativa aos Resíduos Sólidos (RSU), indica que a geração de RSU no Brasil cresceu 1,3% de 2011 para 2012, índice que é superior à taxa de crescimento populacional urbano no país no período, que foi de 0,9%. Essa taxa pode causar espanto para muitas pessoas, levando em consideração que todos esses resíduos, na maioria das vezes, não se destinam a um cuidado especial.

A Figura 1 indica, com base na pesquisa realizada pela ABRELPE (2012), que a situação da destinação final do RSU no Brasil manteve-se inalterada em relação a 2011. O índice de 58% correspondente a destinação final adequada dos RSU é significativo, porém a quantidade de RSU destinada inadequadamente cresceu em relação ao ano anterior, totalizando 23,7 milhões de toneladas que seguiram para lixões ou aterros controlados, que do ponto de vista ambiental pouco se diferenciam dos lixões, pois não possuem o conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Figura 1– Destinação final dos RSU coletados no Brasil

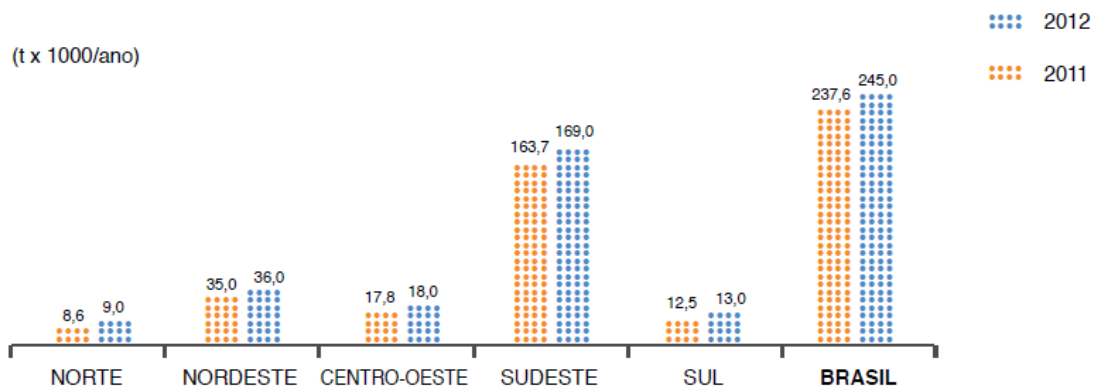


Fonte: Pesquisa realizada pela ABRELPE (2012).

Na produção destes resíduos sem destinação, a construção civil tem um valor considerável e em crescimento. Dados fornecidos pela ABRELPE (2012), mostram que os municípios coletaram mais de 35 milhões de toneladas de RSCD em 2012, o que implica no aumento de 5,3% comparado ao ano anterior, como se pode verificar na Figura 2.

Esta situação, também observada em anos anteriores, exige atenção especial quanto à destinação final dos RSCD, visto que a quantidade total desses resíduos é ainda maior, uma vez que os municípios coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos.

Figura 2 – Total de RSCD coletados nas regiões e Brasil



Fonte: Pesquisa realizada pela ABRELPE (2012).

Dada essa importância da destinação final dos RSCD, surgiu a necessidade de sua caracterização, classificação e reutilização de forma a reduzir consideravelmente essas taxas.

## 2.2 Classificação e geração de RSCD

Resíduos de construção civil, segundo a resolução 307 de 2002 do CONAMA, são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concretos em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. Os Resíduos Sólidos de Construção e Demolição (RSCD) podem ser classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1– Classificação de resíduos da construção civil

Classificação dos resíduos da construção civil		
Classe	Especificação	Exemplos
A	Reutilizáveis ou recicláveis como agregado	<p>a) Provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos de terraplanagem;</p> <p>b) Provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto</p> <p>c) Provenientes de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidos nos canteiros de obras</p>
B	Recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso. (Redação dada pela Resolução nº431/11)
C	Não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação	-
D	Perigosos oriundos do processo de construção	Tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04)

Fonte: Resolução 307, CONAMA (2002).

A construção civil é um grande gerador de resíduos e estes geralmente são produzidos em decorrência de excessiva quantidade de perdas e desperdícios. De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição - ABRECON (2013), o segmento da reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil ainda é incipiente. A reciclagem deste resíduo é um mercado desenvolvido em muitos países da Europa, em grande parte pela escassez de recursos naturais. Uma característica vital para a viabilidade da

reciclagem de RSCD no país é o entrosamento com as questões ambientais e a abordagem preservacionista que a atividade agrega.

A reciclagem contribui com a limpeza da cidade, alivia o impacto nos aterros sanitários e lixões, além de amenizar alagamentos e enchentes, uma vez que, não será retida em bueiros e tubulações de drenagem.

A matéria prima (entulho gerado) é o resultado de um processo produtivo que ainda não tem políticas para o descarte adequado do resíduo. Não obstante os benefícios ambientais, há também o retorno social. A atividade tem o potencial de expandir a geração de trabalho e renda.

Com base em um estudo sobre os resíduos sólidos da construção civil, a Tabela 2 abaixo apresenta um resumo da geração de RSCD em algumas cidades brasileiras, apontando para a grande variação de sua porcentagem em relação aos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Tabela 2 – Geração de RSCD em algumas cidades brasileiras

Município	RSCD (t/dia)	RSCD/ RSU	Taxa de geração (t/hab.ano)
Jundiaí/SP	712	62%	0,89
São Paulo/SP	5260	34%	0,18
São Carlos/SP	381	não disponível	0,7
Salvador/BA	2746	50%	0,39
Feira de Santana/BA	276	50%	0,21
Belo Horizonte/MG	1200	51%	0,22
Maceió/AL	1100	45%	0,57
Porto Alegre/RS	1000	não disponível	0,31
Florianópolis/SC	636,12	não disponível	0,81
Blumenau/SC	331,51	não disponível	0,45

Fonte: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará (2011).

Normalmente, observa-se que o somatório dos percentuais de concreto, argamassa e material cerâmico, para cada cidade apresentada, corresponde a mais de 60% do total de resíduos gerados. Esses resultados demonstram o potencial de reciclagem dos RSCD, uma vez que os resíduos mencionados pertencem à Classe A de acordo com a Tabela 1, potencialmente recicláveis como agregados.

Os principais estudos desenvolvidos nos últimos anos no sentido de caracterizar e avaliar o potencial de reciclagem dos RSCD e sua reutilização em elementos estruturais de concreto estão indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Revisão dos principais trabalhos para desenvolvimento deste projeto

Trabalho	Investigação	Descrição	Objetivos
Salomon Mony Levy (2001)	Experimental	Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria	Determinar qual a influência do teor crescente dos agregados reciclados de concreto e de alvenaria
Sérgio Cirelli Ângulo (2001)	Experimental	Metodologia de determinação dos teores de concreto e argamassa presentes na composição dos agregados graúdos de RSCD	Uso de análise de imagem como critério para estimativa da composição de fases de concreto e argamassa
Mônica Batista Leite (2001)	Experimental	Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição	Avaliar a possibilidade de utilização de resíduos gerados pela construção civil como substitutivo, total ou parcial, do agregado natural para produção de concretos convencionais.
Jonathas Judá Lima Tenório (2007)	Experimental	Avaliação das propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto produzido com agregados miúdos e graúdos de RSCD para uso do compósito em estruturas	Produção de concreto com agregados de RSCD que permitam caracterizá-lo quanto à possibilidade de aplicação como material estrutural
Alexandre Marques Buttler (2007)	Experimental	Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural	Avaliar a incorporação de agregados reciclados de concreto nas propriedades físicas e mecânicas de unidades e elementos de alvenaria estrutural comparando-os com unidades e elementos produzidos com agregados naturais
Ricardo Cezar Mello Mattos Habib (2009)	Experimental	Produção de concretos através da substituição da areia natural por areia proveniente de britagem de Resíduos de construção e Demolição Vermelho	Utilizar o agregado na condição de saturado, superfície seca. Buscou-se com esse procedimento, minimizar as interferências características do concreto
Thomaz Ripper (2009)	Experimental	Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto	Estudo do desenvolvimento de sintomas patológicos em estruturas de concreto armado ou protendido, bem como dos métodos e procedimentos para recuperação e reforço de estruturas

Fonte: da autora.

### 2.3 Causa da geração de RSCD

Os altos índices de desperdício são gerados, na maioria dos casos, por ingerência nos processos construtivos, principalmente devido à falta de coordenação desde a fase inicial de implementação da obra até a fase final quando da manutenção (LEITE, 2001). A ausência de padronização dos elementos construtivos, de especificações técnicas, baixa qualidade e pouco detalhamento dos projetos, além de deficiências de gestão na aquisição, transporte, estocagem e manuseio dos materiais podem levar a erros, que acabam se traduzindo em perdas e, por consequência, afetam inclusive o meio ambiente (SOIBELMAN, 1993; FORMOSO et al. 1993; Formoso et al. 1998; GRIGOLI, 2000 apud LEITE, 2001).

Os RSCD são geralmente depositados indiscriminadamente em vales, margens de rios, a céu aberto, em terrenos baldios, em vias públicas ou em aterros desprovidos de qualquer tratamento específico. Segundo Buttler (2007), apesar da Resolução 307 do CONAMA (Brasil, 2002) e de algumas iniciativas setoriais proibirem a deposição irregular de resíduos, essa ainda é uma prática frequente em inúmeras cidades brasileiras. Segundo Ângulo (2005) apud Buttler (2007), as deposições ilegais de resíduos ocorrem em função dos custos e distâncias que envolvem o transporte desses materiais. Na cidade de São Carlos, em São Paulo, apesar da existência de uma usina de reciclagem municipal, são observados vários pontos de descarga irregular, inclusive na própria rua de acesso à usina de reciclagem, como visto na Figura 3.

Figura 3 – Deposição irregular de resíduos na cidade de São Carlos (SP)



Fonte: Buttler (2007).

Muitas perdas existentes podem ser previstas, reduzidas e até evitadas com um gerenciamento melhor nas fases de construção, evitando desperdícios durante o



processo construtivo e tendo um controle maior dos materiais. Automaticamente, os altos custos finais das edificações também se reduzirão, pois não haverá necessidade de reposição dos materiais que forem desperdiçados, cujo ônus recai sempre sobre o consumidor.

Visto que dentro do canteiro de obras são desenvolvidas várias atividades no setor de construção, existe uma grande diversidade de matérias-primas e técnicas construtivas que afetam, de modo significativo, as características dos resíduos gerados, principalmente quanto à composição e à quantidade.

Outros aspectos, como o desenvolvimento econômico e tecnológico da região, as técnicas de demolição empregadas e a estação do ano também podem interferir indiretamente na composição dos RSCD. Também podem existir componentes inorgânicos e minerais, como concretos, argamassas e cerâmicas, e componentes orgânicos, plásticos, materiais betuminosos, etc. A variação da composição é estimada, em geral, em termos de seus materiais (JOHN, 2002). Tudo isso confere ao material a ser reciclado uma alta heterogeneidade, e sua separação total seria praticamente impossível.

Levy (1997) apud Leite (2001) caracterizou alguns índices de composição de resíduos em Hong Kong, e relacionou-os com a fonte geradora: trabalhos rodoviários, escavações, sobras de demolição, obras diversas e sobras de limpeza. Tais resultados podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Componentes do resíduo de construção e suas fontes geradoras

Componentes presentes	Fontes que dão origem ao entulho de construção				
	Trabalhos rodoviários (%)	Escavações (%)	Sobras de demolição (%)	Obras diversas (%)	Sobras de limpeza (%)
Asfalto	23,47	0	1,61	0	0,13
Concreto Simples	46,38	3,16	20	8,03	9,26
Concreto armado	1,61	2,96	33,1	8,31	8,25
Poeira, solo e lama	16,75	48,91	11,91	16,09	30,54
Pedra britada	7,07	31,1	6,82	7,76	9,73
Cascalho	-	1,43	4,6	15,25	14,13
Madeira	0,1	1,07	7,14	18,22	10,53
Bambu	0	0,03	0,3	0,05	0,29
Blocos de concreto	0	0	1,16	1,12	0,9
Tijolos maciços	0	0,31	6,33	11,94	5
Vidros	0	0	0,2	0,35	0,56
Papel e matéria orgânica	0	0,29	1,3	2,62	3,05
Tubos plásticos	0	0	0,6	0,35	1,13
Areia	4,62	9,58	1,43	3,24	1,69
Árvores	0	0,7	0	0,01	0,12
Conduítes	0	0	0,04	0,01	0,03
Retalho de tecidos	0	0	0,07	0,13	0,23
Metais	0	0,47	3,4	6,08	4,36

Fonte: POLYTECHNIC, citado por LEVY (1997) apud LEITE (2001).

A análise dos índices indica que a quantidade de concreto nos resíduos de demolição é muito maior, pois trata-se da demolição das estruturas, enquanto nos resíduos de construção esse percentual é muito menor, pois é proveniente apenas de sobras existentes.

Com relação à vantagem ambiental de um processo de reciclagem, há necessidade de se avaliar o risco ambiental da reciclagem de RSCD para a produção de argamassas e concretos, mesmo que seja constatada a viabilidade do ponto de vista tecnológico e econômico (ÂNGULO et al., 2001 apud BUTTLER 2007).

## 2.4 Composição do RSCD

A composição do resíduo, como já visto anteriormente, é bastante heterogênea e provém de diversas fontes geradoras, onde aparecem os mais diversos materiais usados na construção civil, e em diversas proporções. Tenório (2007) verificou que a fração mineral reciclável como agregado para concretos e argamassas é bastante representativa, como apresentado na Tabela 5 e 6.



A heterogeneidade e variabilidade da composição do agregado reciclado resultarão numa variabilidade de suas propriedades (JOHN et al., 2006 apud Tenório 2007) já que cada fase possui suas próprias características e peculiaridades.

Tabela 5 – Exemplos de composição percentual de RSCD do Brasil e da Holanda.

Materiais	Origem				
	Recife	Blumenau (em volume)	Salvador	Maceió	Holanda
Concreto e argamassa	38,0	18,4	53,0	46,5	21,0
Cerâmica	2,0	15,2	14,0	48,2	39,0
Cerâmica vermelha e argamassa	x	30,2	x	x	x
Rochas	9,0	0,8	5,0	x	x
Tijolo	17,0	x	x	x	14,0
Solo e areia	27,0	5,3	22,0	x	x
Cerâmica polida	x	5,6	x	3,1	x
Cerâmica polida e argamassa	x	9,7	x	x	x
Madeira	2,0	9,3	x	x	17,0
Gesso	4,0	x	x	x	x
Metal	1,0	0,2	x	x	x
Plástico	x	x	4,0	x	x
Podas	x	2,5	x	x	x
Outros	x	2,9	2,0	2,3	9,0
Total reciclável	93,0	85,1	94,0	97,7	74,0

Fonte: Carneiro et al. (2004), Sardá e Rocha (2003), Carneiro et. Al (2001), Vieira (2003), Bossink e Brouwers (1996), Carrijo (2005) apud Tenório (2007).

Tabela 6 – Composição percentual, segundo a Resolução Conama 307 (2002), de RSCD coletados no lixão de Maceió e em pontos de deposição ilegal dentro da malha urbana da cidade.

Origem da amostra	% em massa das classes presentes na amostra			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
*Misturado	93,98	3,33	2,66	0,04
Construção	82,89	4,58	12,22	0,31
Reforma	98,56	0,66	0,78	0
8 depósitos ilegais na cidade	98,82	0,07	1,11	0
Média	93,56	2,16	4,19	0,09

Fonte: Gomes et al. (2005) apud Tenório (2007).

Se forem retiradas de uma mesma fonte várias amostras, a variabilidade da composição do agregado é diferente da variabilidade do RSCD visto já ter sido comprovado por Pinto (1986) apud Tenório (2007) de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Composição percentual, em massa, de vários agregados graúdos reciclados.

Materiais	Origem					
	Porto Alegre		Usina de Ribeirão Preto/SP			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D
Argamassa	25,9	30,62	36,8	35,7	37,9	37,4
Concreto	15,9	14,49	19,8	21,6	21,5	21,1
Cerâmica	25,9	26,77	14,6	25,9	23,8	20,8
Rochas	31,9	27,72	27,4	13,4	12,4	17,7
Cerâmica polida	x	x	1,2	2,6	4	2,5
Outros	0,4	0,4	0,2	0,8	0,4	0,5

Fonte: Leite (2001) apud Tenório (2007).

No estudo de Tomosowa e Noguchi (2000) apud Buttler (2007) é proposta uma classificação para os agregados reciclados de concreto, bem como possíveis aplicações para esses materiais. Essa classificação baseia-se na absorção dos agregados reciclados. Como será demonstrado neste trabalho, geralmente, valores elevados de absorção indicam grande quantidade de argamassa aderida que conduzem a uma diminuição da resistência e durabilidade, aumento das deformações e retração do concreto. Na Tabela 8, são enumerados alguns pontos fundamentais dessa classificação.

Tabela 8- Classe dos agregados reciclados de concreto e campos de aplicação

Classe dos agregados reciclados	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	Resistência recomendada (MPa)	Campos de aplicação
C1	Agregado reciclado tipo C1 – Absorção $\leq 3,0\%$	Agregado miúdo natural	18 a 24	Concreto simples ou armado, paredes de contenção, infraestrutura de pontes, etc
C2	Agregado reciclado tipo C2 – Absorção $\leq 5,0\%$	Natural ou reciclado tipo F1 - Absorção $\leq 5,0\%$	16 a 18	Concreto simples, unidades de alvenaria, bases de rodovias, dispositivos de drenagem, etc
C3	Agregado reciclado tipo C3 – Absorção $\leq 7,0\%$	Ag. miúdo reciclado tipo F2 - Absorção $\leq 10,0\%$	$\leq 16$	Radiers, enchimentos, nivelamentos, etc

Fonte: Adaptado de Tomosawa e Noguchi (2000) apud Buttler (2007).

De acordo com Buttler (2007) os agregados reciclados classificados de acordo com sua composição sofrem exigências quanto às propriedades físicas e fixa limites de substituições para elementos interiores e exteriores do concreto armado (Tabela 9).

Tabela 9 - Composições e campos de aplicação para os agregados reciclados.

Tipo de agregado	Composição(%)						Quant. máxima de cloretos solúveis % em massa	Massa específica mínima dos agregados (kg/m <sup>3</sup> )	Máxima absorção de água, % em massa	Quantidade máxima de agregados graúdos reciclados, % do total de agregados		
	Concreto, agregado natural	Tijolo	Pedra calcárea	Outros minerais constituintes <sup>1</sup>	Asfalto	Contaminantes <sup>2</sup>				Concreto armado		Aterros ou material de sub-base <sup>3</sup>
										el. Int.	el. Ext.	
1 – agregado de concreto	≥ 90		≤ 10	≤ 2	≤ 1	≤ 0,2	0,4	2000	10	50	40	100
2 – agregado de RCD	≥ 70		≤ 30	≤ 3	≤ 1	≤ 0,5	0,4	2000	15	40	-	100
3 – agregado de alvenaria	≥ 20	≥ 80	≤ 5	≤ 5	≤ 1	≤ 0,5	0,4	1800	20	40	-	100
4 – mistura de agregados		≥ 80		≤ 20		≤ 1,0	0,4	1500	-	-	-	100

<sup>1</sup> bloco e concreto com agregados leves, concreto celular, argamassa, escória e pedra-pomes

<sup>2</sup> vidro, cerâmica, gesso, plástico, madeira, borracha e metal

<sup>3</sup> Incluindo agregados miúdos reciclados

Fonte: DIN 4226-100 (2002) apud Buttler (2007).

Muller (2006) apud Buttler (2007) recomenda através das prescrições do Comitê Alemão para Concreto Armado que as propriedades dos concretos com agregados reciclados sejam similares às propriedades dos concretos com agregados naturais.

Foi criada uma equipe de trabalho na Espanha, em Novembro de 2002, visando revisar as regulamentações normativas de concreto estrutural com a inclusão de materiais reciclados segundo Alaejos et. al (2004) apud Buttler (2007). Na revisão desse código normativo deverão ser incluídas algumas limitações para a utilização de agregados reciclados em concretos estruturais. Dentro destas limitações, será permitida a utilização para concretos massa e armado, sendo vedado o emprego desses agregados para a produção de concreto protendido.

Na Tabela 10, são apresentados alguns limites de resistência de acordo com as recomendações de alguns códigos normativos com agregados reciclados (ALAEJOS et al., 2004 apud BUTTLER 2007).

Tabela 10 - Limites de resistência para a utilização de concretos reciclados segundo diferentes códigos normativos.

<b>País/Código</b>	<b>Categoria de resistência (MPa) – concreto com 100% de agregados graúdos reciclados</b>	<b>Categoria de resistência (MPa) – concreto com 20% de agregados graúdos reciclados</b>
Rilem	50	sem limite
Hong Kong	20	25-30
Bélgica	30	-
Holanda	45 (corpo-de-prova cúbico)	sem limite
Reino Unido	40	sem limite
Japão (obras civis)	24	-
Austrália (aplicações não-estruturais)	40	-

Fonte: adaptada de ALAEJOS et al. (2004) apud Buttler (2007).

Os resíduos de concreto podem ser reciclados por processos simplificados, devido à sua maior homogeneidade, comparativamente aos resíduos de construção e demolição, de acordo com Buttler (2007). Para os resíduos oriundos de atividades de construção e demolição, é vital que sejam desenvolvidos processos mais eficientes de segregação nos canteiros de obras, novos métodos de separação e eventuais adequações nos projetos visando maximizar o reaproveitamento e reciclagem dos materiais, levando em consideração que a separação da fase concreto das demais frações é complicada e onerosa devido aos processos de separação comumente empregados.

## 2.5 Granulometria

Segundo Buttler (2007), a granulometria pode ser considerada como a propriedade de um agregado de maior aplicação na prática, principalmente para a determinação do módulo de finura (M.F.), da dimensão máxima característica e da curva granulométrica utilizadas na dosagem do concreto. A composição granulométrica dos agregados foi determinada de acordo a ABNT (NBR 7217, 1987) e os resultados obtidos para agregados graúdos naturais e reciclados encontram-se na Tabela 11 e Figura 4.

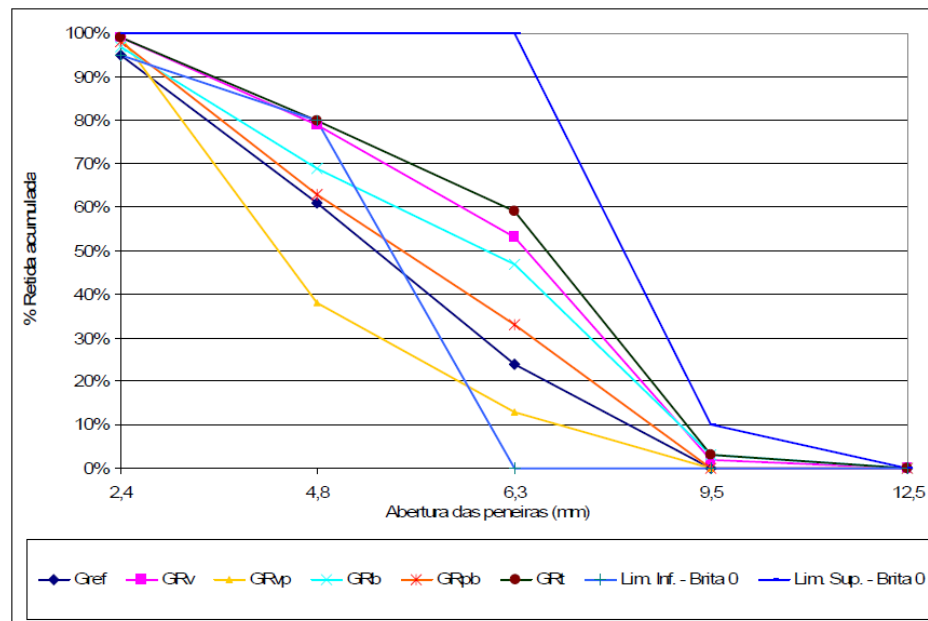
Tabela 11 – Composição granulométrica dos agregados graúdos.

Peneira (mm)	Pedrisco (basalto) - Gref		GRv		GRvp		GRb		GRpb		GRt	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	ret.	acum.	ret.	acum.	ret.	acum.	ret.	acum.	ret.	acum.	ret.	acum.
12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	0	0	2	2	0	0	3	3	0	0	3	3
6,3	24	24	50	53	13	13	44	47	33	33	56	59
4,8	37	61	27	79	24	38	23	69	30	63	22	80
2,4	35	95	20	99	61	99	28	97	35	98	19	99
fundo	5	100	1	100	1	100	3	100	2	100	1	100
D.Máx= 9,5mm		D.Máx= 9,5mm		D.Máx= 9,5mm		D.Máx= 9,5mm		D.Máx= 9,5mm		D.Máx= 9,5mm		
M.Fin. = 5,56		M.Fin. = 5,81		M.Fin. = 5,37		M.Fin. = 5,69		M.Fin. = 5,62		M.Fin. = 5,83		
-		Brita 0		-		-		-		Brita 0		

Nota: Agregado graúdo reciclado de vigota (GRv); Agregado graúdo reciclado de resíduos da vibro-prensagem dos blocos (GRvp); Agregado graúdo reciclado de bloco de concreto (GRb); Agregado graúdo reciclado de telha de concreto (GRt).

Fonte: Buttler (2007).

Figura 4 – Curvas granulométricas dos agregados graúdos.



Fonte: Buttler (2007).

Buttler (2007) verificou, de maneira geral, que os agregados reciclados apresentaram um módulo de finura maior quando comparado com o agregado natural, e que a granulometria do agregado reciclado depende do processo de britagem utilizado.

As composições granulométricas dos agregados miúdos naturais (referência) de acordo com Buttler (2007) encontram-se na Tabela 12.

Os agregados miúdos avaliados por Buttler (2007) apresentaram menores valores de módulo de finura, quando comparados com o pó-de-pedra e, portanto,

foram classificadas como areias muito finas. No caso dos agregados miúdos reciclados, não foram encontradas diferenças significativas entre si com relação à composição granulométrica, sendo classificados em sua maioria como granulometria muito uniforme, de acordo com a tabela 13.

Tabela 12 – Composições granulométricas dos agregados miúdos (referência).

Peneira (mm)	Pó-de-pedra (Basalto)		Areia Tietz		Areia Itaporanga	
	% ret.	% acum.	% ret.	% acum.	% ret.	% acum.
4,8	1	1	1	1	0	0
2,4	16	17	2	4	1	1
1,2	21	38	4	8	4	5
0,6	19	57	8	16	13	18
0,3	15	72	66	82	60	79
0,15	12	83	15	97	16	94
Fundo	17	100	3	100	6	100
	D.Máx= 4,8 mm		D.Máx= 2,4 mm		D.Máx= 1,2 mm	
	M.Fin. = 2,68		M.Fin. = 2,08		M.Fin. = 1,98	
	-		Zona 1 (muito fina)		Zona 1 (muito fina)	

Fonte: Buttler (2007).

Tabela 13 – Composições granulométricas dos agregados miúdos reciclados.

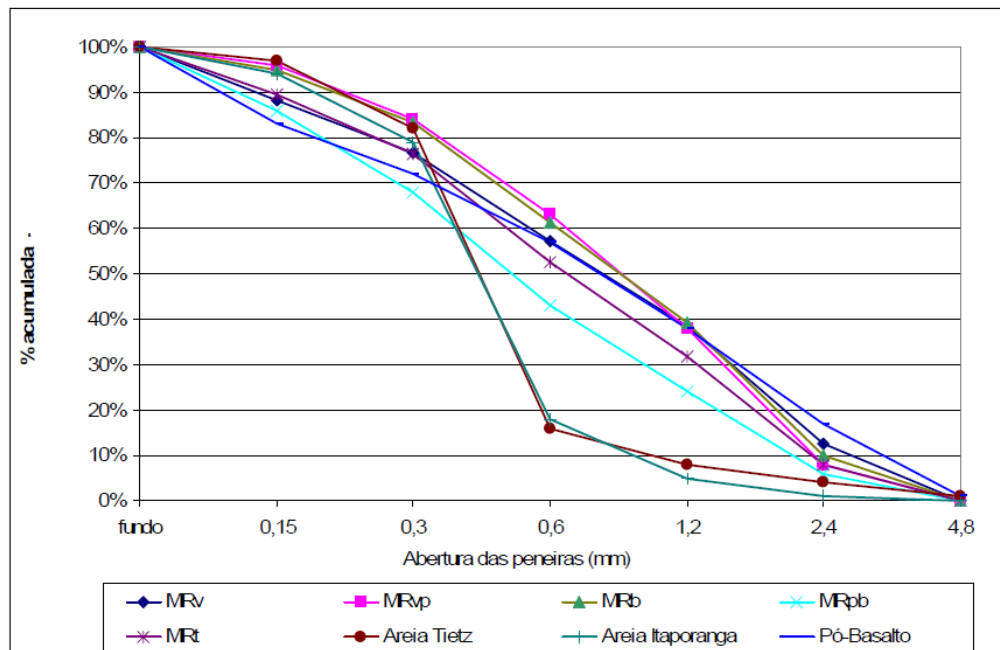
Peneira (mm)	MRv		MRvp		MRb		MRpb		MRt	
	% ret.	% acum.	% ret.	% acum.	% ret.	% acum.	% ret.	% acum.	% ret.	% acum.
4,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,40	13	13	8	8	10	10	6	6	8	8
1,20	26	38	30	38	29	39	18	24	24	32
0,60	19	57	25	63	22	61	19	43	21	53
0,30	19	77	21	84	22	83	25	68	24	76
0,15	12	88	12	96	12	95	18	86	13	89
fundo	12	100	4	100	5	100	14	100	11	100
	D.Máx.: 4,8 mm		D.Máx.: 4,8 mm		D.Máx.: 4,8 mm		D.Máx.: 4,8 mm		D.Máx.: 4,8 mm	
	Mód. Fin.: 2,73		Mód. Fin.: 2,88		Mód. Fin.: 2,89		Mód. Fin.: 2,28		Mód. Fin.: 2,58	
	Classif: zona 3 (média)		Classif: zona 3 (média)		Classif: zona 3 (média)		Classif: zona 3 (média)		Classif: zona 3 (média)	

Nota: Vigota (MRv), Bloco (MRb), Resíduos oriundos do processo final de produção dos blocos (MRvp).

Fonte: Buttler (2007).

Na figura 5, são apresentadas as composições granulométricas dos materiais naturais e reciclados de acordo com Buttler (2007).

Figura 5 – Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados e dos agregados naturais.



Nota: Vigota (MRv), Bloco (MRb), Resíduos oriundos do processo final de produção dos blocos (MRvp), Telha (MRt).

Fonte: Buttler (2007).

Segundo Buttler (2007), o fato dos agregados miúdos reciclados possuírem uma dimensão de partículas maior quando comparada com agregados naturais, se deve às características do britador utilizado, a abertura da sua mandíbula e o tipo de resíduo processado. Para os agregados reciclados notou-se uma grande porcentagem de partículas retidas na peneira de malha 1,2mm (em torno de 25%), já para os agregados naturais a porcentagem retida mais significativa ocorreu na peneira 0,3mm (cerca de 63%).

Tenório (2007), considera que a granulometria dos agregados reciclados é variável e depende da composição do resíduo de origem, da granulometria do resíduo, do equipamento usado na cominuição do resíduo e de sua regulagem, de outras operações unitárias usadas no beneficiamento e ainda outros fatores.

Nas usinas brasileiras que utilizam britadores de impacto é gerada grande quantidade de miúdos (até 60% em massa), mas uma quantidade considerável de miúdos e finos já está presente no resíduo. Entretanto, mesmo que essa parcela seja removida antes da cominuição, a quantidade gerada nesta etapa é significativa (LIMA, 1999 apud TENÓRIO, 2007).

De acordo com Lima (1999) apud Tenório (2007), agregados de concreto reciclado de diferentes qualidades não apresentavam variações significativas na granulometria e podem apresentar curvas parecidas com a de agregados naturais, quando retiradas as parcelas finas.

## **2.6 Absorção de água**

A absorção de água é uma das propriedades ligadas à porosidade cuja determinação é a das mais simples. As duas propriedades são diretamente proporcionais (TENÓRIO, 2007).

De acordo com a ABNT (NBR 9937, 1987), Buttler (2007) verificou-se o monitoramento da absorção de água para determinar o total de poros permeáveis nos agregados. Já o índice de vazios relacionou o volume de poros permeáveis com o volume total. O estado saturado superfície seca é um importante parâmetro para calcular ou expressar a composição de um determinado concreto, pois estabelece uma diferenciação clara entre os dois tipos de água tipicamente encontradas em um agregado (BUTTLER, 2007).

Caso o teor de água de um agregado seja inferior àquele no seu estado saturado superfície seca, o agregado absorverá água da mistura e, conseqüentemente, ocorrerá um aumento na velocidade de abatimento do concreto. Por outro lado, quando o teor de água é superior àquele no seu estado saturado superfície seca, o agregado introduzirá água na mistura, (AITICIN, 2000 apud BUTTLER, 2007).

Em misturas com maior consumo de cimento, a determinação da absorção inicial do agregado (10 a 30 minutos) torna-se importante em relação a absorção total, pois, nesses casos, a absorção de água pelo agregado torna-se mais lenta ou cessa completamente devido ao cobrimento das partículas de agregado pela pasta de cimento (NEVILLE, 1997 apud BUTTLER, 2007).

Os resultados para as propriedades de absorção de água e índice de vazios dos agregados graúdos utilizando o procedimento da ABNT (NBR 9937,1987) encontrados por Buttler (2007), são apresentados na Tabela 14.



Tabela 14 – Absorção de água e índice de vazios.

	Índice de Vazios (%)	Absorção de água (%)		
		10 minutos	30 minutos	24 horas
Ag. referência (pedrisco)	2,02	-	-	0,73
GRv	9,47	3,64	3,73	4,00
GRvp	8,70	-	3,16	3,48
GRb	10,64	-	4,34	4,45
GRpb	8,90	-	3,27	3,57
GRT	9,91	3,56	3,81	4,45

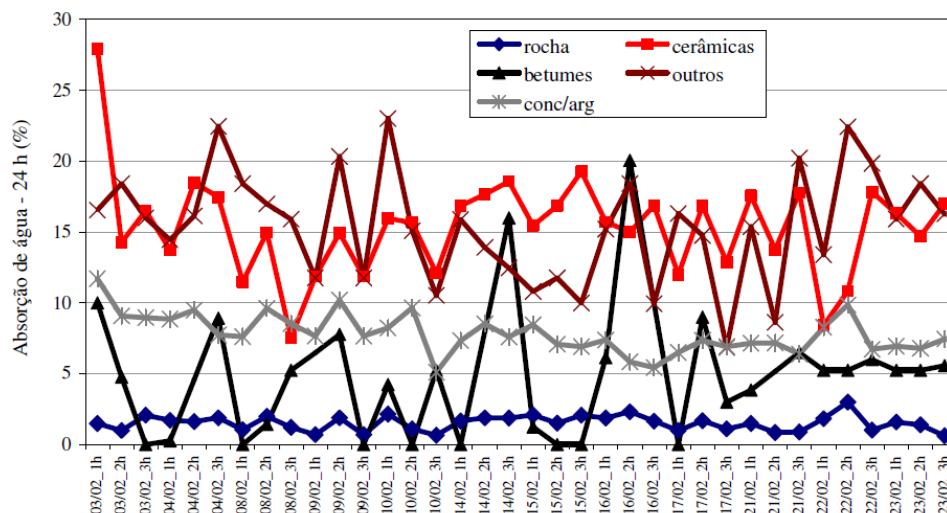
Nota: Agregado graúdo reciclado de vigota (GRv); Agregado graúdo reciclado de resíduos da vibro-prensagem dos blocos (GRvp); Agregado graúdo reciclado de bloco de concreto (GRb); Agregado graúdo reciclado de telha de concreto (GRT).

Fonte: Buttler (2007).

Buttler (2007), observou que todos os resultados de absorção dos agregados graúdos reciclados estiveram dentro dos limites recomendados.

Ângulo (2000) apud Tenório (2007), constatou que a absorção de cada uma das fases que compunham o agregado reciclado produzido na usina de Santo André (SP) variou e que as fases tenderam, em geral, a ser cada vez mais porosas na seguinte ordem: rochas, concretos/argamassas e cerâmicas (Figura 6). Logo, quanto mais porosidade, maior será a absorção do agregado.

Figura 6 – Absorção de água por imersão, após 24 horas, de fases do agregado graúdo de RSCD reciclado da usina de Santo André (SP).



Fonte: ÂNGULO, 2000 apud TENÓRIO 2007.

De acordo com Tenório (2007) vários estudos tem observado que a absorção de água é maior para frações de menor granulometria. São exemplos o estudo de Hansen e Narud (1983) apud Tenório (2007), que analisaram agregados de concreto reciclado (Tabela 14), e Poon e Chan (2006) apud Tenório (2007) (Tabela 15), que, dentre outras fontes, analisaram agregados de alvenaria e tijolos cerâmicos.

Tabela 14 – Propriedades de agregados de concreto reciclado.

Tipo de agregado	Fração granulométrica (mm)	Massa específica	Absorção de água (%)	Perda por abrasão <i>Los Angeles</i> (L500)	Volume de argamassa aderida aos grãos de rocha natural (%)
Reciclado (H)	4-8	2,34	8,5	30,1	58
	8-16	2,45	5,0	26,7	38
	16-32	2,49	3,8	22,4	35
Reciclado (M)	4-8	2,35	8,7	32,6	64
	8-16	2,44	5,4	29,2	39
	16-32	2,48	4,0	25,4	28
Reciclado (L)	4-8	2,34	8,7	41,4	61
	8-16	2,42	5,7	37,0	39
	16-32	2,49	3,7	31,5	25

Fonte: Hassen e Narud (1983) apud Tenório (2007).

Nota: H,M e L significam que os concretos britados (em britador de mandíbulas) eram de alta, média e baixa resistência, respectivamente.

Tabela 15 - Absorção de água de agregados de alvenaria de tijolos cerâmicos reciclados.

Propriedade	Tamanho do agregado		
	20 mm	10 mm	< 5 mm
Absorção de água (%)	18,4	19,5	30,9

Fonte: Poon e Chan (2006) apud Tenório (2007).

Logo, é preciso observar que na produção do concreto a quantidade de água que o agregado reciclado pode absorver irá depender de fatores como a sua condição inicial de umidade, o tempo de permanência em contato com a água, se o agregado entra em contato primeiro somente com a água, ou com a pasta de cimento, entre outros (BARRA, 1996 apud LEITE, 2001 apud TENÓRIO, 2007).

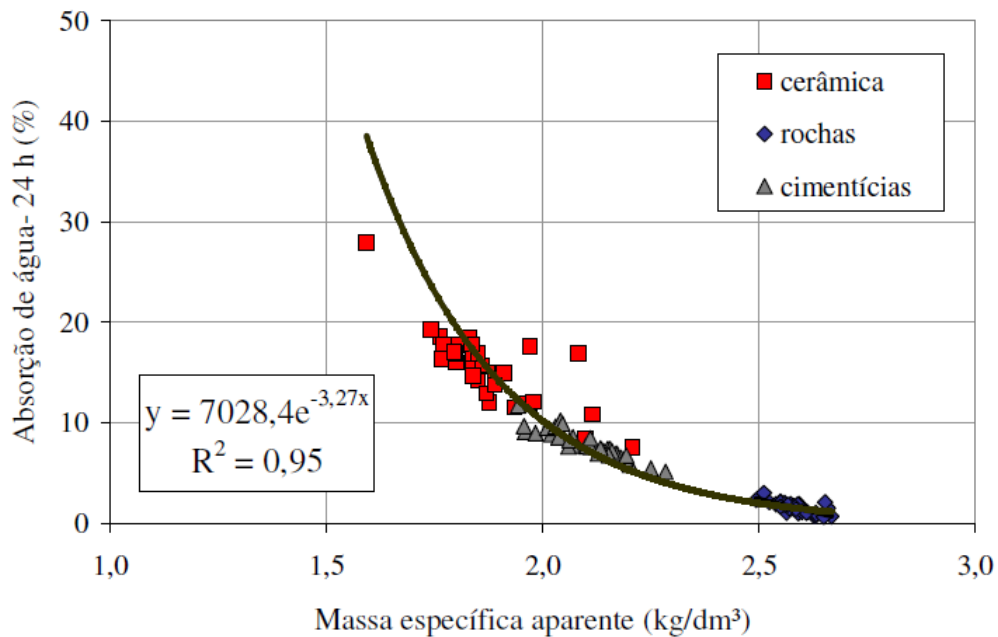
## 2.7 Massa específica e massa unitária

A massa específica é outra propriedade intimamente ligada à porosidade, e as duas guardam entre si uma relação inversamente proporcional (TENÓRIO, 2007). Assim como a absorção de água, a massa específica dos agregados reciclados sofre variabilidade em consequência da variação da porosidade, regra comprovada por Ângulo (2000) apud Tenório (2007) no estudo da usina de Santo André (SP).

Ângulo (2000) apud Tenório (2007), comprova que assim como a absorção de água, a massa específica dos agregados reciclados sofre variabilidade em

consequência da variação da porosidade, no estudo da usina de Santo André (SP). O autor observou uma variabilidade de massa específica das fases componentes do agregado gráúdo reciclado e também uma tendência geral daquelas com maior absorção a apresentarem menor massa específica (Figura 7).

Figura 7 – Correlação entre massa específica aparente e absorção de água do agregado gráúdo reciclado da usina de Santo André (SP).



Fonte: Ângulo (2000) apud Tenório (2007).

A massa unitária em estado solto de um agregado refere-se à relação entre a massa do agregado e seu volume, sem compactar. A massa unitária compactada de agregado pode ser definida como sendo a relação entre sua massa e seu volume compactado, considerando-se os vazios entre os agregados (TENÓRIO, 2007).

Segundo Neville (1997) apud Buttler (2007), a massa unitária depende da distribuição de tamanho e forma das partículas, isto é, partículas de um mesmo tamanho podem ser adensadas até um determinado limite, mas caso partículas menores sejam incorporadas, preenchendo os vazios existentes entre as partículas maiores, haverá um aumento significativo da massa do material adensado. Os resultados para os agregados gráúdos encontrados por Buttler (2007) são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Massa unitária dos agregados graúdos.

	Massa unitária estado solto				Massa unitária estado compactado			
	Valor (kg/dm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/dm <sup>3</sup> )	Coef. Variação (%)	Relação rec/nat	Valor (kg/dm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/dm <sup>3</sup> )	Coef. Variação (%)	Relação rec/nat
Agreg. Ref.	1,393	0,0046	0,33	1,00	1,548	0,0096	0,62	1,00
GRv	1,250	0,0019	0,15	0,90	1,320	0,0120	0,91	0,85
GRvp	1,301	0,0049	0,38	0,93	1,452	0,0150	1,04	0,94
GRb	1,180	0,0026	0,22	0,85	1,374	0,0273	1,99	0,89
GRpb	1,281	0,0045	0,35	0,92	1,432	0,0186	1,30	0,93
GRt	1,134	0,0026	0,23	0,81	1,238	0,0120	0,97	0,80

Nota: Agregado graúdo reciclado de vigota (GRv); Agregado graúdo reciclado de resíduos da vibro-prensagem dos blocos (GRvp); Agregado graúdo reciclado de bloco de concreto (GRb); Agregado graúdo reciclado de telha de concreto (GRt).

Fonte: Buttler (2007).

Buttler (2007) observou que a relação entre as massas unitárias no estado solto para os agregados reciclados e para o material natural ficou com o valor médio de 0,85; com exceção dos agregados reciclados GRvp e GRpb que obtiveram uma relação próxima a 0,93. Com relação à massa unitária no estado solto; pode-se notar que os agregados reciclados com melhor distribuição granulométrica, alcançaram os maiores valores para essa propriedade. Na tabela 17 encontram-se os resultados para os agregados miúdos.

Tabela 17 - Massa unitária para os agregados miúdos.

	Massa unitária estado solto				Massa unitária estado compactado			
	Valor (kg/dm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/dm <sup>3</sup> )	Coef. Variação (%)	Relação rec/pó	Valor (kg/dm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (kg/dm <sup>3</sup> )	Coef. Variação (%)	Relação rec/pó
Areia Tietz	1,573	0,0035	0,22	-	1,692	0,0016	0,09	-
Areia Itapor.	1,605	0,0044	0,27	-	1,754	0,0040	0,23	-
Pó de pedra	1,646	0,0064	0,39	1,00	1,981	0,0110	0,55	1,00
MRv	1,270	0,0172	1,35	0,77	1,495	0,0153	1,02	0,75
MRvp	1,420	0,0023	0,16	0,86	1,577	0,0175	1,11	0,80
MRb	1,323	0,0111	0,84	0,80	1,540	0,0179	1,16	0,78
MRpb	1,533	0,0120	0,78	0,93	1,746	0,0021	0,12	0,88
MRt	1,254	0,0048	0,38	0,76	1,524	0,0209	1,37	0,77

Nota: Vigota (MRv), Bloco (MRb), Resíduos oriundos do processo final de produção dos blocos (MRvp), Telha (MRt).

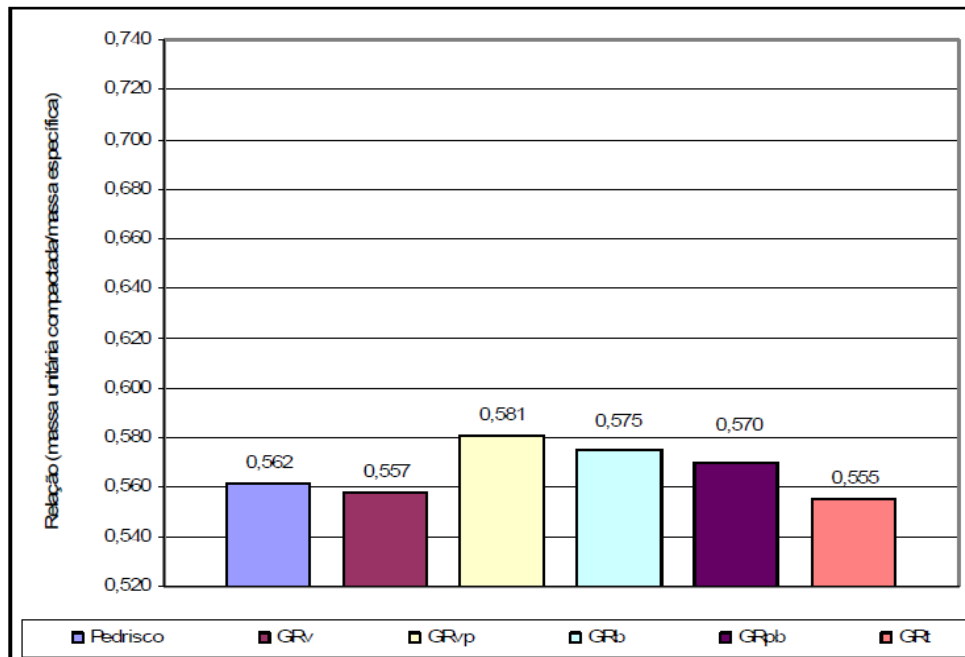
Fonte: Buttler (2007).

Na caracterização realizada por Buttler (2007) os agregados reciclados apresentaram uma redução média de 18% em comparação ao material natural, observada a relação com massa unitária no estado solto e compactado.

Segundo Neville (1997) apud Buttler (2007), se os agregados forem constituídos integralmente de partículas esféricas, todas do mesmo tamanho, a arrumação mais compacta é atingida quando os seus centros se situarem nos centros de tetraedros imaginários. A massa compactada será, nessa idealização,

74% da massa específica do material. Na arrumação mais aberta, quando as esferas se situam nos vértices de cubos imaginários, a massa unitária representará apenas 52% da massa específica do sólido. Os resultados encontrados por Buttler (2007) utilizando esse procedimento são apresentados na Figura 8.

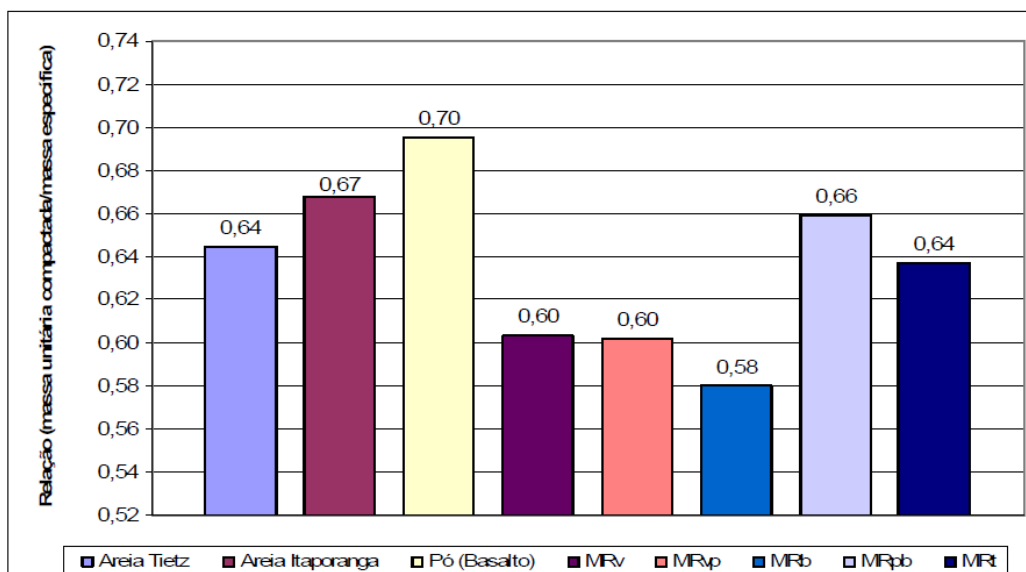
Figura 8- Relação massa unitária/massa específica para os agregados graúdos.



Fonte: Buttler (2007).

Analisando a Figura 8, a classificação mais correta para esses agregados é seu enquadramento como materiais angulosos, segundo Buttler (2007). Na Figura 9 são expostos os resultados para agregados miúdos.

Figura 9- Relação massa unitária/massa específica para os agregados miúdos.



Fonte: Buttler (2007).

Analisando a Figura 9, a classificação mais correta para esses agregados é de grande parte serem ligeiramente arredondados e outros angulosos, segundo Buttler (2007).

## **2.8 Propriedade dos concretos e grautes confeccionados com agregado de RSCD**

Assim como as propriedades dos agregados são influenciados pela porosidade dos RSCD, as do concreto e do graute também são (TENÓRIO, 2007). Em consequência de os agregados reciclados terem propriedades variáveis, os concretos com eles confeccionados também tendem a apresentar variabilidade das propriedades que dependem do agregado.

Segundo Tenório (2007) o conhecimento dessas propriedades é tão importante quanto o conhecimento das propriedades do agregado, visto que é a partir do entendimento das relações existentes entre esses dois conjuntos de dados que se pode proporcionar o emprego adequado e confiável dos agregados reciclados.

Baseado no conhecimento sobre as propriedades e desempenho dos compostos de concreto e graute, será verificado se os compostos realizados neste trabalho, podem ser ou não utilizados para reforço e reparos estruturais, levando em consideração os valores limites em normas e recomendações.

### **2.8.1 Consistência**

Observa-se na literatura que, em geral, os concretos confeccionados com agregados reciclados apresentam menor consistência (medida pelo abatimento do tronco de cone) que concretos convencionais de mesmo traço.

Segundo Guimarães (2005) apud Tenório (2007), a consistência é afetada por vários fatores, dentre eles o consumo de água, consumo de cimento, relação água/cimento, relação agregado/cimento e consumo de cimento, adições, aditivos e agregados.

De acordo com Souza et al. (1998), o concreto de reposição deverá ter resistência no mínimo igual à do concreto existente na estrutura.

No caso dos agregados reciclados, a maior presença de grãos mais finos (teor de finos e/ou materiais pulverulentos), a forma mais lamelar ou angular dos grãos, a textura superficial mais rugosa e a maior porosidade (que tanto aumenta a rugosidade das partículas quanto permite ao agregado absorver parte da água da mistura) prejudicam a consistência do concreto (TENÓRIO, 2007);

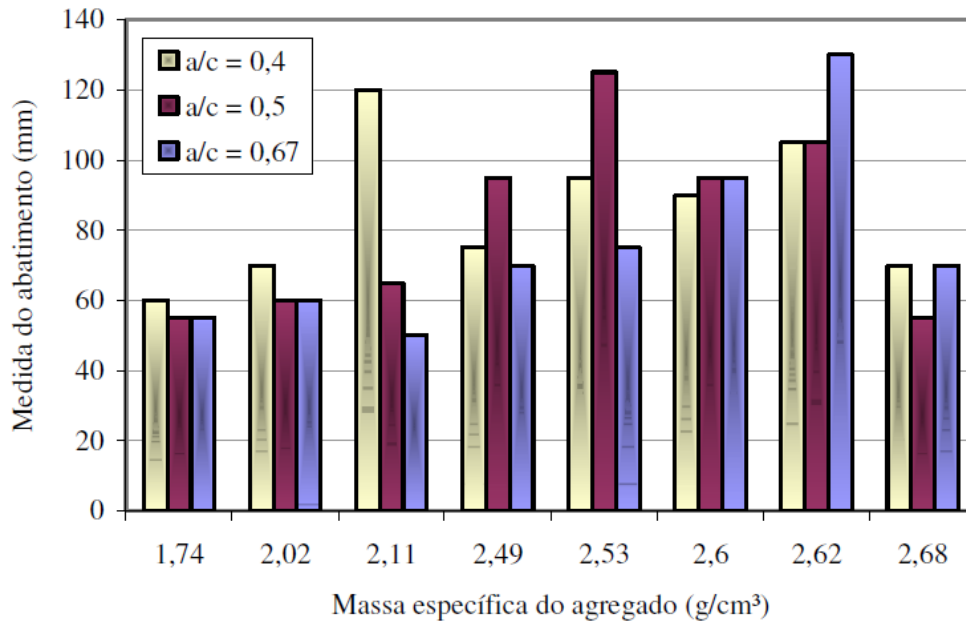
Leite (2001) usou um experimento fatorial para analisar a influência da relação a/c do teor de substituição de agregados naturais miúdos e graúdos por agregados reciclados miúdos e graúdos sobre propriedade do concreto. A autora mediu a consistência através do abatimento do tronco de cone e observou, entre outras coisas, que concretos reciclados apresentaram valores de abatimento mais baixos e mais variáveis que o concreto convencional. Isso ocorreu porque a relação a/c teve efeito significativo sobre o abatimento do concreto, de forma que houve uma tendência de diminuição deste à medida que a relação a/c cresceu.

Algo interessante observado por Leite (2001) foi que concretos confeccionados somente com agregados miúdos reciclados tiveram o abatimento menos prejudicado. Apesar dos concretos reciclados terem apresentado abatimentos mais baixos que os concretos de referência, com exceção dos concretos com grandes teores de substituição dos agregados miúdo e graúdo (88,5%), as demais misturas apresentaram-se bem moldáveis. Mesmo assim, os concretos reciclados tiveram uma grande absorção de água e tenderam a segregação e menor exsudação em relação aos concretos de referência.

Carrijo (2005) apud Tenório (2007) resolveu adotar a metodologia de adicionar gradualmente aditivo superplastificante ao concreto até que se verificasse visualmente que o mesmo havia atingido o ponto de consistência plástica. Só então era medido o abatimento (Figura 10).

Carrijo (2005) apud Tenório (2007), constatou que o abatimento do tronco de cone é ineficaz em avaliar a consistência de concretos reciclados, e afirmou ainda que o fato de o abatimento ter sido menor para as menores massas específicas do agregado reciclado (considerando as relações a/c 0,5 e 0,67) pode ser explicado não só pela maior absorção deste mas também pelo fato de a massa dos grãos não ser suficientemente grande para vencer a resistência que a pasta exerce nos mesmos.

Figura 10– Abatimento de concretos confeccionados com agregados graúdos de RSCD reciclado separados em faixas de densidade.



Fonte: Carrijo (2005) apud Tenório (2007).

Logo, Tenório (2007) constatou, baseado nos estudos, que os efeitos negativos dos agregados reciclados sobre a consistência podem vir a ser minimizados através de aumento na quantidade de água no traço, aumento do consumo de cimento (automaticamente modificando a relação água/cimento), uso de aditivos (plastificantes, superplastificantes, etc.), eliminação da parte da fração fina dos agregados miúdos e uso de agregados graúdos menos porosos, ou seja, mais densos e com menor absorção de água.

Em relação aos grautes, não foi encontrado nenhum trabalho que fizesse análise da consistência utilizando agregado miúdo de RSCD. Assim, esta pesquisa adotou como referência as recomendações da ABNT (NBR 15961-2, 2011), ou seja, a consistência do graute deve ser adequada para preencher todos os vazios sem que haja segregação.

O graute deve ter características no estado fresco que garantam o completo preenchimento dos furos e não pode apresentar retração que provoque o descolamento do graute das paredes dos blocos. Quando o graute for produzido em obra, devem ser realizados ensaios com antecedência adequada, comprovando o atendimento das características descritas acima.



A produção do graute deve ser feita de modo a garantir o valor característico especificado no projeto e de acordo com os ensaios de controle de obra.

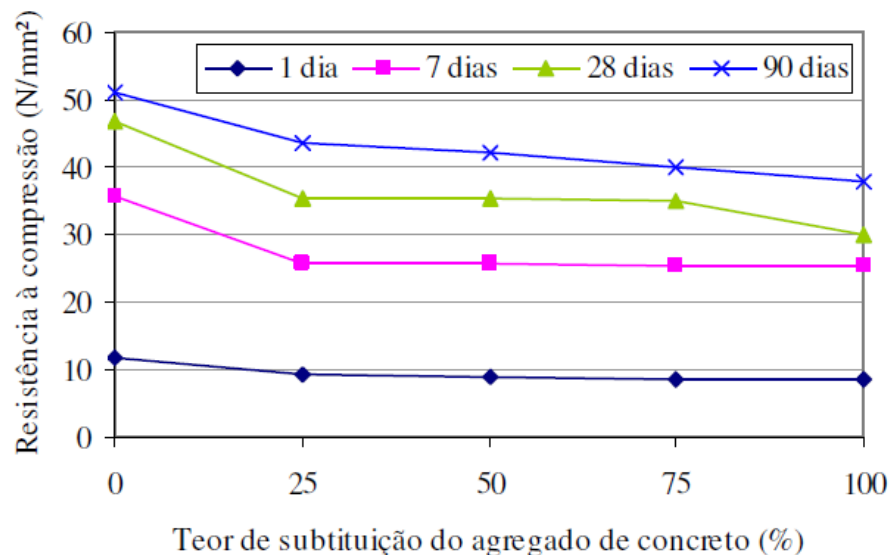
### 2.8.2 Resistência à compressão

Todos os materiais que compõem o concreto afetam diretamente a sua resistência e o seu desempenho final. Assim, os agregados são extremamente importantes para a análise criteriosa das propriedades do concreto (LEITE, 2001).

No que diz respeito a porosidade, pode-se afirmar que o maior limite da resistência dos concretos reciclados é o determinado pelo agregado reciclado, em razão de este ser o principal responsável pela “introdução de porosidade” no sistema. (TENÓRIO, 2007).

No estudo de Khatib (2005) apud Tenório (2007), foi observada uma redução na resistência à compressão dos concretos à medida que se aumentou o teor de substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado, tanto de concreto (Figura 11) quanto de tijolos (Figura 12).

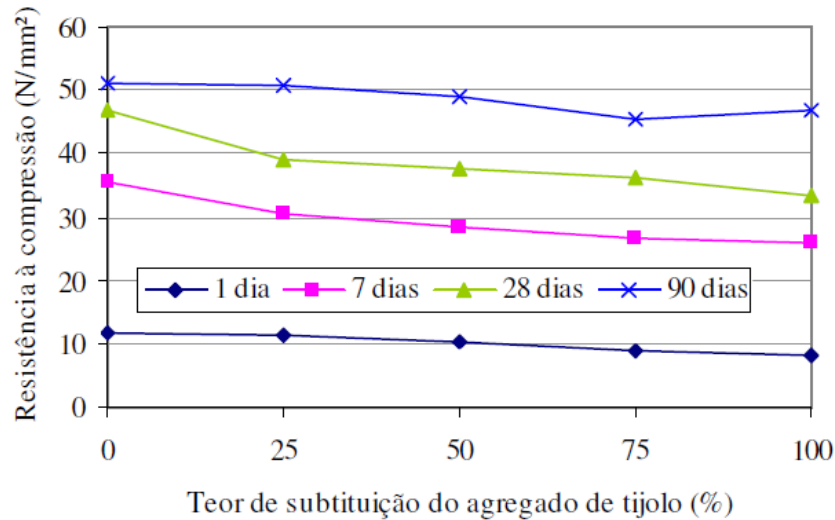
Figura 11: Efeito do agregado miúdo de concreto reciclado sobre a resistência à compressão de concretos.



Fonte: Khatib (2005) apud Tenório (2007).

Segundo Carrijo (2005) e Leite (2001) apud Tenório (2007), para as baixas relações a/c, a resistência à compressão do concreto reciclado é limitada pela baixa resistência do agregado reciclado. Já no caso de altas relações de a/c, a resistência do agregado reciclado pouco influi na resistência do concreto.

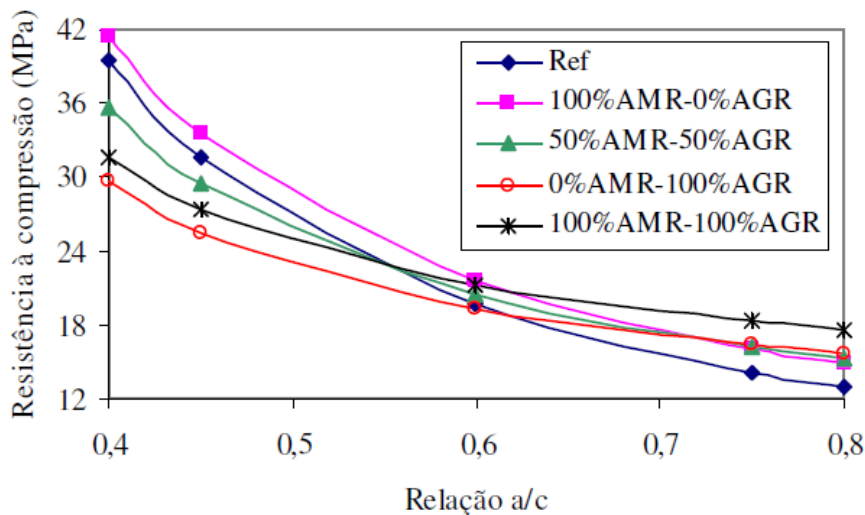
Figura 12: Efeito do agregado miúdo de tijolo reciclado sobre a resistência à compressão de concretos.



Fontes: Khatib (2005) apud Tenório (2007).

Na Figura 13 observa-se que a resistência do concreto convencional é maior que a do concreto reciclado, mas, à medida que a relação a/c aumenta, a situação pode se inverter - Leite (2001) apud Tenório (2007).

Figura 13: Resistência à compressão de concretos reciclados em função da relação a/c e do teor de substituição dos agregados (Agregado Miúdo Reciclado (AMR) e Agregado Graúdo Reciclado (AGR)).



Fonte: Leite (2001) apud Tenório (2007).

Segundo Tenório (2007), as altas relações de a/c certamente estão relacionadas à porosidade do agregado reciclado, levando em consideração que este agregado pode absorver parte da água de mistura dos concreto.

Gómez-Soberón (2002) apud Tenório (2007), observou ainda que a resistência à compressão do concreto diminuiu à medida que o teor de agregados reciclados cresceu, pois a porosidade total aumentou gradativamente.

Por fim, Tenório (2007) afirma que, no que se refere ao uso de agregado graúdo reciclado, alcança-se uma resistência maior do concreto, se estes forem menos porosos ou misturados com agregados graúdos naturais. No caso de agregado miúdo, o autor reconhece que a resistência do concreto precisa ser mais bem compreendida.

Pela mesma razão quanto à consistência, houve dificuldade de encontrar trabalhos que sirvam como parâmetro de comparação da resistência à compressão de grautes produzidos com RSCD. Logo, foram levadas em consideração a produção do graute com agregados naturais, de acordo com normas e referências encontradas.

A resistência mecânica é ainda um parâmetro de comparação válido, porém, o material deve ser avaliado de forma integral, tomando-se como referência as propriedades de maior interesse.

De acordo com ABNT (NBR 15961-2, 2011), o graute deve ter resistência à compressão, de modo que a resistência do prisma grauteado atinja a resistência especificada pelo projetista.

O ensaio de resistência à compressão do graute é realizado conforme a ABNT (NBR 5739, 2007). Sempre prevalece a ideia de garantir altos valores de resistência inicial e final, mas nem sempre existe a preocupação de garantir baixa retração, boa aderência e compatibilidade com as propriedades mecânicas do substrato TULA (entre 1998 e 2010).

A alta resistência inicial do graute permite que haja uma rápida liberação do elemento grauteado, facilitando o processo de reparação da estrutura como um todo, e a elevada resistência final garante o bom desempenho em esforços elevados, mesmo para reforço de concretos de alta resistência TULA (entre 1998 e 2010).

Segundo a ABNT (NBR 15961-1, 2011), para elementos de alvenaria armada, a resistência à compressão característica deve ser especificada com valor mínimo de 15 MPa.

Tula (entre 1998 e 2010) reconheceu a necessidade maior de classificação para requisitos de grautes de reparo estrutural, levando em consideração que não existem no Brasil normas e procedimentos que permitam especificar e controlar tais materiais.

O autor realizou uma classificação (Tabela 18) dos requisitos a serem especificados e controlados para grautes utilizados em reparos estruturais, com o objetivo de fornecer uma ferramenta de referência, além de auxiliar a organização do mercado no desenvolvimento de produtos comerciais com tal finalidade.

Tabela 18- Grupo de requisitos a serem especificados e controlados para um graute de reparo.

	Requisitos iniciais de utilização	Requisitos de durabilidade
Segurança estrutural	Módulo de deformação – de 100% a 110% do módulo do substrato Coeficiente de dilatação térmica – da mesma ordem de grandeza Temperatura de trabalho – dentro da faixa correspondente (até 280°C, até 500°C, até 800°C, até 1200°C) <i>Aplicações estruturais:</i> Resistência à compressão – mín. 17 MPa aos 3 dias, - mín. 27,5 MPa aos 28 dias, outros valores deverão ser especificados pelo projetista (POSTON et al, 2001) Resistência à tração por compressão diametral – mín. 2,5 MPa aos 28 dias, outros valores deverão ser especificados pelo projetista (HELENE e LEVI, 1998) <i>Aplicações estruturais:</i> Resistência à tração aos 28 dias – mín. 8% da resistência à compressão aos 28 dias, com cura recomendada pelo fabricante (POSTON et al, 2001). Aderência ao substrato NBR 13.528 – mínima 1 MPa - <i>e.f.</i> (HELENE e LEVI, 1998) Compensação da retração plástica, sem segregação no “flow table” Água de exsudação - menor que 0,2%	Compatibilidade com o substrato – <i>e.f.</i> : Fluência, Resistência à fadiga, Resistência a ciclos de temperatura, Resistência à abrasão/cavitação, etc. Retração total aos 28 dias (50% UR, 23°C) - máx. $4 \times 10^{-4}$ mm/mm. Retração em 1 ano – máx. 2 vezes a retração aos 28 dias – <i>e.f.</i> (POSTON et al, 2001). Ensaio de retração restringida (Anel de Coutinho <sup>1</sup> ou Ring Test <sup>2</sup> ) sem fissuração em 28 dias (POSTON et al, 2001). Resistência à corrosão das armaduras: Absorção capilar - máximo de 0,250 g/cm <sup>2</sup> e altura de 2 cm - (HELENE e LEVI, 1998) Resistividade mínima – 200 kΩcm (DURAR, 1997)- <i>e.f.</i> Coeficiente de carbonatação máximo (k) inferior a $2,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{ano}}$ a 25°C, UR de 70% a 85% e concentração de CO <sub>2</sub> em torno de 0,03% - <i>e.f.</i> (HELENE e LEVI, 1998) Penetração de íons cloretos – máxima 4000 C (ASTM C 1202/91 adaptado) – <i>e.f.</i> (HELENE e LEVI, 1998) Teor de cloretos menor que 0,03% (HELENE e LEVI, 1998)
Conforto visual	Cor e textura superficial esperados Preenchimento de vazios (possibilidade de abrigar densidade de armadura máxima)	Mudanças de cor (resistência a UV) Resistência à lixiviação, estimada pela resistência a penetração de água – 20 m coluna de água.
Economia	Adequação ao capital inicial disponível Disponibilidade do produto Relação custo/benefício global levando em consideração: mão-de-obra, tempo de execução e outros indicadores	Relação custo/benefício ao longo da vida de serviço, levando em consideração: ciclo de manutenção, custo de intervenção, inflação e depreciação entre outros indicadores econômicos
Manuseio	Peso de embalagem não maior que 25 kg Fácil mistura e colocação Dimensão máx. característica do gráudo 9,5 mm Teor máximo de material orgânico Teor de ar incorporado - máximo de 5% Fluidez e auto-adensamento Espalhamento “flow table” maior que 240 mm Manutenção da fluidez: Espalhamento após 45 min. à 25°C maior que 240 mm Tempo de expansão de 0 a 30 min.	

*e.f.* - ensaios facultativos

Fonte: Tula (Entre 1998 e 2010).

Tula (Entre 1998 e 2010), realizou também uma classificação para grautes de reparo em relação às suas classes e sua melhor indicação de uso (Tabela 19).

Segundo a Tabela 19 pode-se considerar um graute de classe estrutural de elevada resistência aos 28 dias com  $f_{ck}$  igual ou maior a 60 MPa.

Um graute de classe de baixo módulo, ou seja, com valor de módulo de deformação baixo, é considerado com um  $f_{ck}$  aos 28 dias maior que 30MPa e um módulo de deformação menor que 27GPa.

Tabela 19- Proposta de classificação para grautes de reparo.

Classe	Características principais	Uso preferencial
Estrutural de elevada resistência	Argamassa ou microconcreto Expansão controlada $f_{ck28} > 60$ MPa	Preenchimento de vazios confinados ou semi-confinados: bicheiras, recomposição de seção de pilares e similares
Estrutural de elevada resistência inicial	Microconcreto (recomendável) Retração compensada $f_{ck3\text{ horas}} > 15$ MPa	Reparos emergenciais Reparos localizados de pavimentos com liberação do tráfico após 2 a 3 horas
Estrutural de resistência média	Micro-concreto (recomendável) Retração compensada $f_{ck28} =$ de 35 a 50 MPa	Reparos localizados de 25 a 300 mm de profundidade em estruturas de concreto com resistência abaixo de 40 MPa Pequenos reparos de piso
De baixo módulo	Microconcreto (recomendável) Retração compensada $f_{ck28} > 30$ MPa $E_{28} < 27$ GPa	Reparos generalizados com elevada relação área/volume. Reparo de pavimentos Reparo de fundo de vigas e similares
De uso especial * (por exemplo os de elevada temperatura de trabalho)	Classificáveis em faixas de trabalho: até 500°C, até 800°C, até 1200°C	Reparo e manutenção de estruturas em indústrias siderúrgicas e similares

*\* Entre os grautes de uso especial podem ser classificados outros, como por exemplo: os grautes para reparos submersos; os grautes de injeção, de baixa ou alta pressão, muito utilizados na indústria de pré-moldados e na perfuração de poços de petróleo, dentre outros.*

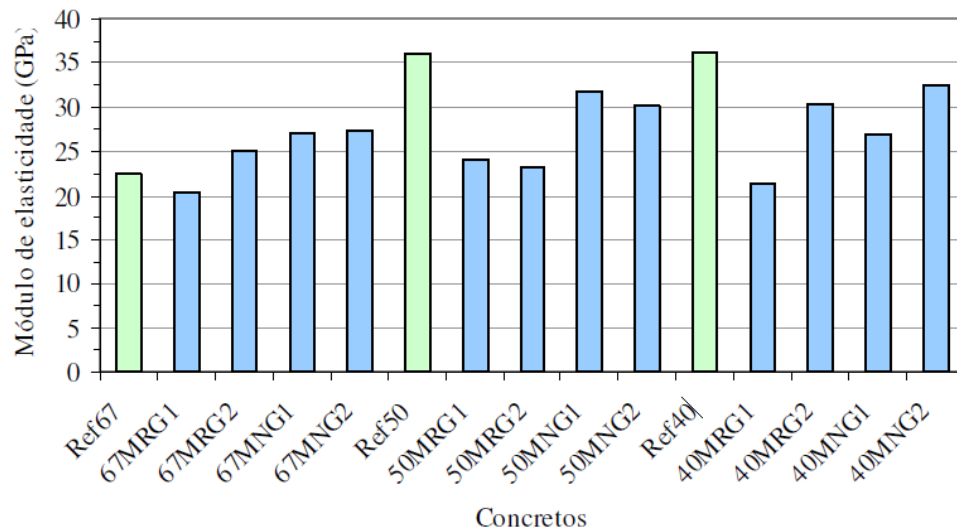
Fonte: (Tula Entre 1998 e 2010).

### 2.8.3 Módulo de elasticidade

Assim como a resistência à compressão, o módulo de elasticidade do concreto depende da porosidade de suas fases (pasta, agregado e zona de transição), logo, os comportamentos observados na resistência repetem-se no módulo de elasticidade (TENÓRIO, 2007).

O autor caracterizou o ensaio de Módulo de Elasticidade tangente inicial ( $E_{ci}$ ) e observou que os agregados reciclados não tiveram efeito benéfico sobre o Módulo de Elasticidade dos concretos reciclados (Figura 14), pois os mesmos foram menores que os dos respectivos concretos de referência, confirmando que os concretos reciclados afetam também essa propriedade.

Figura 14- Módulo de elasticidade tangente inicial (Eci) dos concretos.



Fonte: Tenório (2007).

Os traços produzidos por TENÓRIO (2007) estão indicados na Tabela 20. Assim, sabe-se qual traço foi realizado e a qual módulo de elasticidade se refere.

Tabela 20: Composição dos concretos produzidos (traço em massa e em volume).

Traço	Relação a/c	Materiais em volume (dm³)				Materiais em massa (kg)				Teor de argam. seca
		água	cimento	agreg. miúdo	agreg. graúdo	água	cimento	agreg. miúdo	agreg. graúdo	
67MRG1	0,67	200	99	301	400	200	300	752,5	832	0,56
67MRG2	0,67	200	99	301	400	200	300	752,5	900	0,54
67MNG1	0,67	200	99	301	400	200	300	806,7	832	0,57
67MNG2	0,67	200	99	301	400	200	300	806,7	900	0,55
50MRG1	0,50	200	132	268	400	200	400	670,0	832	0,56
50MRG2	0,50	200	132	268	400	200	400	670,0	900	0,54
50MNG1	0,50	200	132	268	400	200	400	718,2	832	0,57
50MNG2	0,50	200	132	268	400	200	400	718,2	900	0,55
40MRG1	0,40	200	165	235	400	200	500	587,5	832	0,57
40MRG2	0,40	200	165	235	400	200	500	587,5	900	0,55
40MNG1	0,40	200	165	235	400	200	500	629,8	832	0,58
40MNG2	0,40	200	165	235	400	200	500	629,8	900	0,56
Concretos de referência										
Ref67	0,67	200	99	301	400	200	300	806,7	1048	0,51
Ref50	0,50	200	132	268	400	200	400	718,2	1048	0,52
Ref40	0,40	200	165	235	400	200	500	629,8	1048	0,52

Fonte: Tenório (2007).

Tenório (2007) concluiu através de seus estudos que o módulo de elasticidade é influenciado pela porosidade do agregado reciclado de forma semelhante à resistência a compressão, ou seja, o uso de agregados mais densos (menos porosos) permite obter concretos reciclados com maior módulo de elasticidade.

#### **2.8.4 Concreto e grante confeccionados com agregados reciclados com adição de aditivos**

Os aditivos são produtos químicos utilizados em pequenas quantidades e têm capacidade de alterar propriedades do concreto em estado fresco ou endurecido, e apesar de estarem divididos em várias categorias, os aditivos carregam em si dois objetivos fundamentais: ampliar as qualidades de um concreto ou minimizar seus pontos fracos.

Nos primeiros passos do desenvolvimento do concreto, os aditivos não estavam presentes, porém, hoje são figuras de fundamental importância para sua composição.

A Tabela 21 abaixo indica como trabalhar a melhora das características do concreto com a adição de aditivos à sua composição.

Tabela 21: Aspectos de melhoria dos concretos com a aplicação de aditivos.

<b>Aspectos de melhoria</b>	<b>Diminuição</b>
Trabalhabilidade	Permeabilidade
Resistência	Retração
Compacidade	Calor de hidratação
Durabilidade	Tempo de pega (retardar ou acelerar)
Bombeamento	Absorção de água
Fluidez (auto adensável)	-

Fonte: da autora.

Tomando os cuidados necessários, devido às características específicas de cada tipo de aditivo, sua utilização de maneira geral é muito satisfatória.

Leite (2001) fez uso de um aditivo superplastificante, com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade das misturas de concreto com agregados reciclados, sem alterar as relações água/cimento originais dos traços de concreto. Foi utilizado um aditivo à base de naftaleno sulfonado com uma dosagem de 2,5% da massa de cimento.



Tenório (2007) também fez uso de um aditivo superplastificante para que a mistura se tornasse plástica e trabalhável de forma a não prejudicar a moldagem dos corpos-de-prova. O autor verificou que em comparação com os concretos convencionais de referência, os concretos contendo agregados reciclados tenderam a exigir maiores doses de aditivo para alcance de uma consistência plástica satisfatória.

## **2.9 Concreto e graute com RSCD empregados na recuperação de elementos estruturais**

As estruturas executadas em concreto armado não são eternas, pois com o passar do tempo elas se deterioram e, além disso, há o agravante de erros de projeto, má execução e conservação que contribuem para degradação prematura, ou seja, a estrutura não atinge o tempo de vida útil para o qual foi projetada (SILVA, 2006).

Para isso, existe um campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo de origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação, chamado “Patologia das estruturas” (SOUZA;RIPPER, 1998).

Os problemas patológicos simples podem ser resolvidos sem que o profissional responsável tenha obrigatoriamente conhecimentos altamente especializados. Já os problemas patológicos complexos necessitam de uma análise pormenorizada e individualizada do problema, sendo então necessários profundos conhecimentos sobre o assunto, como por exemplo, um caso de recuperação em elementos estruturais (SOUZA; RIPPER, 1998).

Uma estrutura pode apresentar-se “doente” em vários graus, ou seja, as estruturas de concreto podem sofrer deterioração por causas intrínsecas (inerentes às estruturas) e causas extrínsecas (externas ao corpo estrutural). Essas causas dos processos de deterioração das estruturas podem ser por falhas humanas, causas naturais próprias ao material do concreto e ações externas (SOUZA;RIPPER, 1998).

Quando isto ocorre, é necessário intervir para que sua integridade seja garantida. De acordo com Souza e Ripper (1998), quando os serviços a serem executados nesta intervenção não tiverem a finalidade de aumentar ou reconstituir a



capacidade portante da estrutura, introduzindo materiais, chamamos a eles de trabalhos de recuperação ou de reparo da estrutura, ou reforço, no caso contrário.

Ou seja, reparos são normalmente necessários quando as estruturas foram sujeitas a eventuais sobrecargas não previstas em projeto, sofreram danos acidentais ou apresentaram problemas de deterioração do concreto e do aço. Reforços são feitos quando há necessidade de aumentar a capacidade de carga das estruturas. Isto pode acontecer, por exemplo, quando for dada às estruturas uma utilização diferente da admitida no projeto.

Os reparos podem ser classificados de acordo com a profundidade dos danos, como apresentado na Tabela 22.

Tabela 22: Classificação de reparo ou recuperação de acordo com sua profundidade.

Serviços de reparo ou recuperação	
Classificação	Características
Rasos ou superficiais	Profundidade inferior a 2,0cm, sendo considerados em pequenas áreas os que forem executados em superfícies de até 15m <sup>2</sup> , e em grandes áreas os demais.
Semiprofundos	Profundidade entre 2,0 a 5,0cm, normalmente atingindo as armaduras. Ao redor da armadura a ser substituída deve ser efetuada uma limpeza de 2,0 a 3,0 cm de profundidade
Profundos	Profundidade superior a 5,0cm. As cavidades devem ser cuidadosamente preparadas para sua execução, removendo-se todo o concreto danificado até que o concreto sã seja atingido, quando então a superfície deve ser regularizada, mas nunca alisada, de forma a que a aderência com o material de reparo não seja prejudicada.

Fonte: Souza;Ripper (1998).

Existem técnicas necessárias à recuperação e reforço de estruturas, começando com cuidados e procedimentos na preparação da superfície a ser tratada, seguindo pelo tratamento de trincas e fissuras, que são uma das principais causas da deterioração das estruturas (SILVA, 2006).

### **2.9.1 Técnicas de recuperação**

As técnicas de recuperação e reforço existentes vão desde os reparos executados nos elementos estruturais realizados com argamassas, concretos e

grautes (concreto com maior fluidez e que requer menos tempo para atingir sua resistência) até os diversos tipos de reforços existentes no mercado, como os executados com adição de armaduras, aplicação de chapas e perfis metálicos e colagem de mantas de Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono (PRFC).

O presente trabalho utilizará as técnicas de recuperação ou reparos executados nos elementos estruturais realizados com concreto e graute, produzidos com resíduos de construção e demolição graúdos e miúdos. Estas técnicas serão detalhadas nos capítulos seguintes, lembrando que é de fundamental importância a caracterização dos agregados para garantia de que tenham as mesmas características de um concreto e graute convencionais.

### **2.9.2 *Reparo com concreto convencional***

De acordo com Silva (2006), utiliza-se este tipo de reparo quando são identificadas falhas de concretagem ou em estruturas deterioradas, sendo que neste último caso a extensão do reparo deve ultrapassar a seção do elemento estrutural, ou pelo menos que ele vá além das armaduras.

Os reparos em que se utiliza concreto convencional consistem na substituição de concreto defeituoso ou deteriorado por um de boa qualidade e que tenha a maior afinidade possível com o concreto base (SOUZA e RIPPER, 1998).

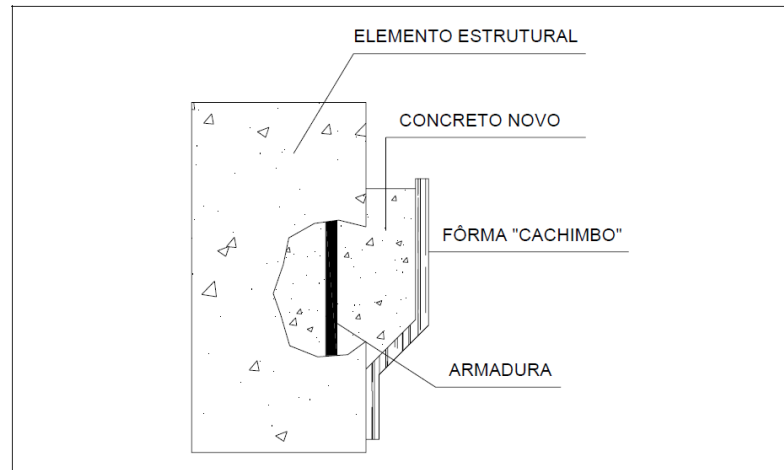
Silva (2006) também verificou que o fator principal de uma boa recuperação, utilizando o concreto como material reparador, é garantir sua cura, devendo-se manter a superfície constantemente úmida durante sete dias.

Neste tipo de reparo há o uso de formas de madeira, onde a concretagem deve ser realizada acima do nível da superfície a ser reparada, com a preocupação de que não fique nenhum local sem ser preenchido (Figura 15). Após a retirada da forma, o concreto fica protuberante no local, onde deve ser cortado e regularizado junto à superfície do local (SILVA, 2006).

Segundo Silva (2006), o concreto utilizado deve ser fluido, mas sem alterar a relação água/cimento, obrigando assim ao uso de ativos (plastificantes, hiperplastificantes e expansivos). Souza e Ripper (1998), priorizam a importância de que todos os reparos sejam executados com extremo cuidado, compactando-se

vigorosamente o concreto e adotando-se a técnica de cura que melhor se adapte à situação do reparo.

Figura 15- Detalhe da forma e concretagem.



Fonte: Silva (2006).

### **2.9.3 *Reparo com concreto projetado***

O concreto projetado é um processo de aplicação de concreto sem a necessidade de formas, bastando apenas uma superfície para o seu lançamento. Esse sistema é largamente utilizado em concretagem de túneis, paredes de contenção, piscinas e em recuperação e reforço estrutural de lajes, vigas, pilares e paredes de concreto armado (SILVA, 2007), como uma das finalidades de uso para os compostos produzidos neste trabalho. O interessante desse método é que o próprio impacto do material sobre a base, promove um concreto de alta compactidade e resistência.

O sistema consiste em um processo contínuo de projeção de concreto ou argamassa sob pressão (ar comprimido), que por meio de um mangote é conduzido de um equipamento de mistura (Figura 16) até um bico projetor e lançado com grande velocidade sobre a base (Figura 17) (SILVA, 2007).

Figura 16 – Equipamento de mistura dos materiais.



Fonte: Silva (2007).

Figura 17 – Projeção do concreto na alvenaria.



Fonte: Silva (2007).

Existem dois métodos de emprego do concreto projetado, de acordo com Silva (2007), pág. 40. São eles:

- Por via seca, onde é feita uma mistura a seco de cimento e agregados, e posteriormente no bico projetor, por uma entrada, é acrescentado água controlada pelo operador.
- Por via úmida, onde o concreto é preparado de forma comum, misturando-se na câmara própria, cimento, agregados, água e aditivos, sendo essa mistura lançada pelo mangote até o bico projetor.

O processo por via úmida tem maior vantagem, pois pode avaliar precisamente a quantidade de água na mistura e garantir que esta hidratou adequadamente o cimento, resultando na certeza da resistência final do concreto (SILVA, 2007).

De acordo com Souza e Ripper (1998), o adensamento do concreto projetado é feito pelo impacto do material contra a superfície de base, o que faz com que ele fique bastante denso e apresente boas propriedades mecânicas, lembrando sempre que em geral, o diâmetro máximo dos agregados é de 19mm, sendo que a mangueira tem diâmetro de 50mm.

Segundo Bezzera (1998) apud Silva (2007), não se deve projetar grandes espessuras de uma única vez. A cura é imprescindível para obter um concreto sem fissuras e de boa resistência, devendo-se empregar água ou agente de cura, aplicados sobre a última camada durante, no mínimo, sete dias (SILVA, 2007).

Uma das grandes desvantagens do concreto projetado é a reflexão do material, principalmente do agregado graúdo, uma vez que ele é lançado com grande velocidade sobre a superfície, perdendo-se muito material. Este material não pode ser reutilizado, devido à contaminação com impurezas e alteração em sua granulometria, sendo imprescindível seu descarte.

#### **2.9.4 *Reparo com graute***

O graute de base mineral ou de base epóxi é uma argamassa de grande fluidez, alta resistência, não apresenta retração, é auto adensável e deve ser utilizado para reparo profundo e semiprofundo (SOUZA;RIPPER, 1998).

Os grautes para reparo são materiais destinados ao preenchimento de vazios confinados ou semiconfinados em locais de difícil acesso, por se tratar de cavidades muito estreitas ou locais com elevada densidade de obstáculos, tais como armaduras, tubulações, entre outros (TULA, entre 1998 e 2010).

Os materiais de reparo, de forma geral, são classificados em: materiais com função estrutural e materiais sem função estrutural. Os primeiros irão participar ativamente da nova capacidade estrutural que o elemento irá adquirir após o reparo.

Dos segundos, exige-se apenas estabilidade e capacidade de proteção das armaduras. (TULA, entre 1998 e 2010).

Este tipo de reparo é executado também quando se necessita de liberação rápida da estrutura, pois o graute atinge altas resistências rapidamente, sendo que 24 horas após a concretagem já é possível a retirada da forma (SILVA, 2007). A fluidez do graute permite que haja um preenchimento total da seção, sem a necessidade de adensamento. A alta resistência inicial permite a rápida liberação das formas e da estrutura grauteada, possibilitando maior agilidade no processo de fixação de equipamentos e rápida colocação da estrutura reparada ou reforçada em carga.

Segundo Tula (entre 1998 e 2010), para que uma argamassa ou concreto seja considerada um graute é necessário que:

- Apresente consistência fluida, dispensando o adensamento
- Atinja altas resistências iniciais e finais
- Apresente expansão controlada

Não basta fazer a escolha correta e conhecer as particularidades do graute em questão para garantir o uso eficiente do material. É necessário seguir uma metodologia de trabalho que começa com um bom planejamento dos serviços e concluir com os procedimentos de cura adequados, de acordo com a Tabela 23 (TULA, entre 1998 e 2010).

Tabela 23 - Metodologia de trabalho para execução adequada da utilização do graute.

<b>Execução do grauteamento</b>		
<b>Etapas</b>	<b>Metodologia de trabalho</b>	<b>Execução</b>
1	Planejamento dos serviços	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcula-se a quantidade de material a ser usado, considerando um acréscimo da ordem de 10% para compensar as perdas;</li> <li>• Reservam-se os equipamentos para mistura e lançamento, reúne-se mão-de-obra treinada e os equipamentos de segurança individual;</li> <li>• O grauteamento deverá ocorrer em horários com menor temperatura ambiente;</li> </ul>

2	Etapa de preparo do substrato	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar à superfície removendo-se a nata do cimento superficial, eliminar o material solto ou comprometido e deixar a superfície rugosa para aumentar a aderência;</li> <li>• Lavar a superfície com jato de água limpa para retirar partículas soltas, pó, graxa, impregnação de óleo e restos de pintura;             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caso a contaminação por óleos ou graxas seja extensa, efetuar a limpeza com desengraxantes adequados ou por outro processo que assegure a total remoção;</li> <li>• As superfícies metálicas deverão receber jateamento de areia para eliminar pinturas anteriores, produtos de corrosão e contaminações;</li> </ul> </li> </ul>
3	Etapa de lançamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O sistema de fôrmas a ser empregado deverá ser totalmente estanque;             <ul style="list-style-type: none"> <li>• A superfície não confinada deverá ser mínima;</li> <li>• As fôrmas deverão apresentar cachimbo (funil alimentador) para facilitar lançamento do graute e o total preenchimento do vão. O cachimbo deverá ter uma altura mínima de 15cm para manter uma pressão hidrostática adequada;</li> </ul> </li> <li>• Recomenda-se deixar pelo menos um furo na parte inferior da forma, para a drenagem da água de saturação, ou do teste de estanqueidade. Esse furo deverá ser tamponado antes do lançamento;</li> </ul>
4	Saturação do substrato	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antes do lançamento, o substrato deverá estar, porém, com a superfície seca. Para tal, recomenda-se preencher as fôrmas com água limpa, pouco tempo antes do lançamento.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Imediatamente antes do lançamento, a água deverá ser drenada das fôrmas;</li> </ul> </li> <li>• Se necessário, aplicar jato de ar sobre o substrato, para remover os empoços mentos;</li> </ul>

5	Mistura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recomenda-se usar misturador de ação forçada, ou uma hélice de mistura apropriada acoplada a uma furadeira de baixa rotação (450/500rpm);</li> <li>• Misturar por três a cinco minutos, até constatar a uniformidade e a homogeneidade do material. Em último caso, para obras de menor porte, misturar manualmente pelo menos durante cinco minutos;</li> <li>• Colocar primeiro no misturador a quantidade de água de amassamento recomendada pelo fabricante. Com o misturador em movimento, adicionar lentamente o pó;</li> </ul>
6	Lançamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O grauteamento deverá ocorrer de maneira contínua e ininterrupta, vertendo o material pelo funil alimentador;</li> <li>• Para o grauteamento de bases de equipamentos, verter o graute apenas por um lado. Encher o cachimbo devagar e continuamente permitindo a saída gradativa do ar eventualmente preso embaixo da placa da base do equipamento;</li> </ul>
7	Cura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar a desforma após 24 horas e, em seguida, iniciar a cura úmida durante no mínimo três dias, ou aplicar membrana de cura;</li> <li>• A cura úmida poderá ser realizada por aspersão de água de tempos em tempos, mantendo a superfície constantemente úmida; <ul style="list-style-type: none"> <li>• A molhagem da superfície deverá ser realizada com maior frequência nas horas de calor mais intenso;</li> </ul> </li> <li>• Deve ser evitada a incidência direta do sol e de ventos fortes, utilizando-se mantas ou anteparos apropriados;</li> </ul>
8	Acabamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nessa etapa deverão ser eliminados os cachimbos e os excessos de material que eventualmente possam ter vazado pelas fôrmas;</li> <li>• Deve ser utilizada uma argamassa polimérica de reparo ou ainda preparada uma argamassa de estancamento para o acabamento e regularização da superfície;</li> </ul>

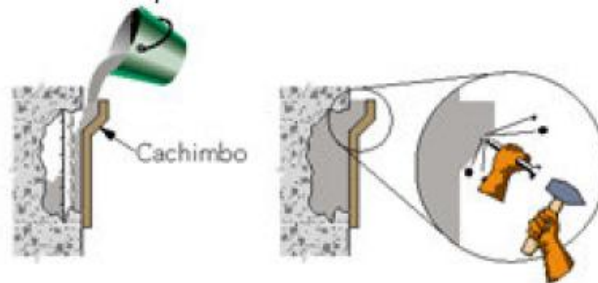
Fonte: Tula (Entre 1998 e 2010).

A Figura 18 ilustra resumidamente o processo de grauteamento de um elemento estrutural vertical de maneira contínua, vertendo o material pelo funil



alimentador. No acabamento são eliminados os cachimbos e os excessos de material que eventualmente possam ter vazado pelas fôrmas.

Figura 18 – Etapas de lançamento e cura do grauteamento.



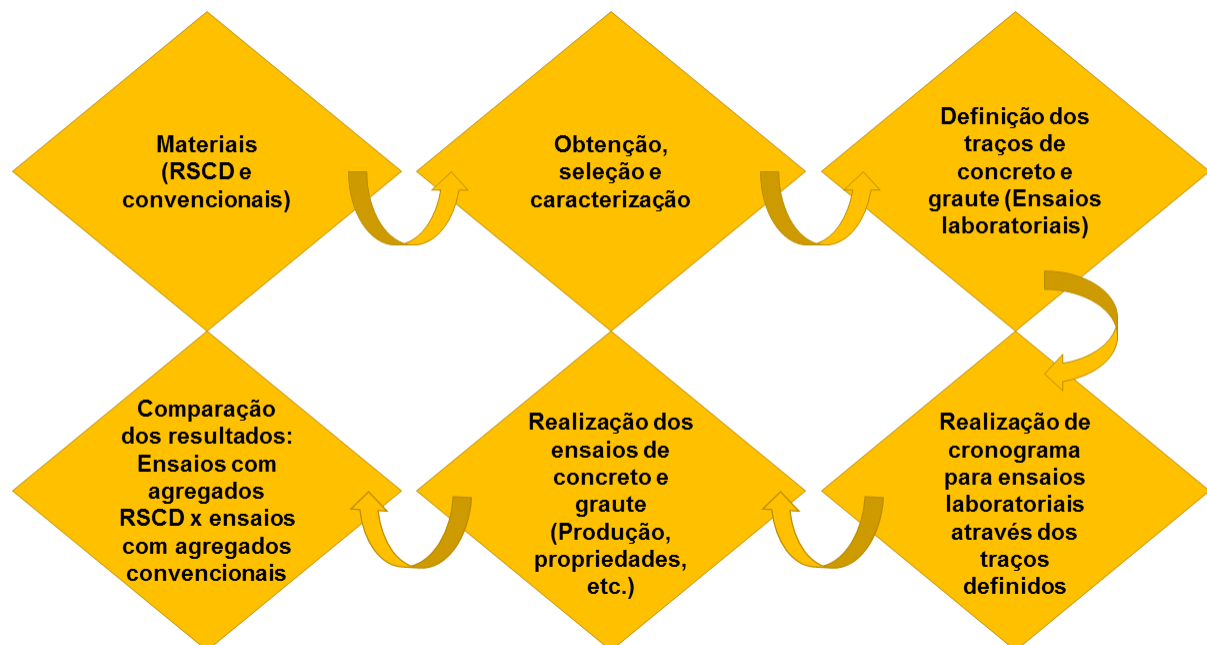
Fonte: Tula (Entre 1998 e 2010).

### 3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A metodologia experimental foi estabelecida a partir dos procedimentos de identificação e caracterização dos agregados de RSCD, para posterior definição dos traços de concreto e graute para fins estruturais. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Solos do UniCEUB.

O procedimento experimental foi dividido nas etapas indicadas na Figura 19. Todos os ensaios foram realizados de acordo com as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Figura 19 – Etapas para procedimento experimental.



Fonte: da autora.

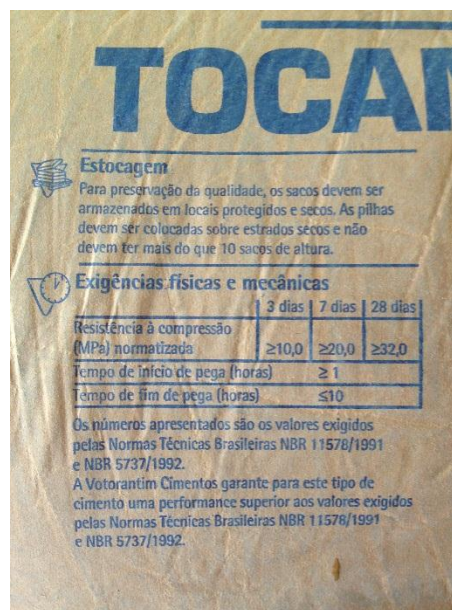
#### 3.1 Materiais utilizados

A seguir são descritos os ensaios de caracterização dos materiais utilizados para confecção dos traços de concreto e graute. Todos os materiais foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais e Solos do UniCEUB.

### 3.1.1 Cimento

O cimento Portland utilizado foi o CP II-Z 32 RS da marca Tocantins. Este cimento é composto com adição de pozolana, para diversas aplicações. Suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos. Pode-se verificar na Figura 20 que o cimento Tocantins atende às exigências físicas e mecânicas de acordo com a ABNT (NBR 11578,1991 ; NBR 5737,1992).

Figura 20- Valores apresentados pela marca de cimento Tocantins de acordo com as Normas Técnicas Brasileiras.



	3 dias	7 dias	28 dias
Resistência à compressão (MPa) normalizada	≥10,0	≥20,0	≥32,0
Tempo de início de pega (horas)	≥ 1		
Tempo de fim de pega (horas)	≤10		

Os números apresentados são os valores exigidos pelas Normas Técnicas Brasileiras NBR 11578/1991 e NBR 5737/1992.

A Votorantim Cimentos garante para este tipo de cimento uma performance superior aos valores exigidos pelas Normas Técnicas Brasileiras NBR 11578/1991 e NBR 5737/1992.

Fonte: da autora.

### 3.1.2 Cal

Embora o norma brasileira não recomende a utilização da cal na constituição de traços de grautes para fins estruturais, este trabalho avaliou a consistência e resistência mecânica de traços com tal elemento constituinte, para fins de comparação com os demais traços, especialmente na substituição deste pelo respectivo aditivo.

A Cal Hidratada utilizada foi CH-III Itaú da marca Votorantim. Com tecnologia e alto controle em todos os processos, principalmente em sua fase de hidratação, possui boa plasticidade e não precisa ser "curtida". É a mais indicada para construção civil, sobretudo na aplicação de argamassas. Pode-se verificar que a Cal

Hidratada Itaú Votorantim atende às exigências, de acordo com a ABNT (NBR 7175, 2003).

### **3.1.3 Aditivo que substitui a cal**

O aditivo adotado foi o Vedalit da marca Vedacit/ Otto Baumgart. De acordo com as suas especificações, este é um aditivo concentrado que proporciona ótima trabalhabilidade às argamassas e reboco, dando também maior aderência, coesão, ausência de fissuras e menor exsudação. Pode-se verificar que o Vedalit atende às exigências de acordo com as normas da ABNT.

### **3.1.4 Agregados**

Os resíduos graúdos e miúdos de construção e demolição foram fornecidos pela empresa Areal Bela Vista, localizada em Sobradinho (DF). A empresa tem serviços de exploração e produção de areia natural. O material coletado faz parte da demolição do Mané Garrincha, atual Estádio Nacional, situado em Brasília (DF). (Figura 21).

Figura 21- Vista de satélite da localização da empresa “Areal Bela Vista”.



Fonte: Vasconcelos (2012).

Os materiais de RSCD utilizados são de classe A, de acordo com a resolução 307/2002 anteriormente citada, pois continham concreto em 80% de sua composição e outros 20% de material cerâmico, telhas e argamassa.

Ainda no Areal Bela vista, ocorre a britagem primária destes materiais para sua possível utilização como agregado. O equipamento utilizado neste processo é o britador de mandíbulas.

Após esta etapa o material é repassado em uma esteira, que possui uma camada magnética superior para a retirada de pequenos fragmentos metálicos (Figura 22).

Figura 22 - Britador de mandíbulas e esteira com camada magnética.



Fonte: da autora.

Os grãos granulometricamente menores, que passaram do processo de britagem primária, são depositados em uma nova esteira para serem lavados, estocados e comercializados com uma classificação de areia média (Figura 23). Os RSCD granulometricamente maiores são encaminhados para uma nova esteira, onde são lavados e posteriormente estocados (Figura 24).



Figura 23 – Passagem dos grãos granulometricamente menores por uma nova esteira e prontos para serem estocados.



Fonte: da autora.

Figura 24 – Lavagem dos grãos granulometricamente maiores após passagem na esteira para serem estocados.



Fonte: da autora.

Após o processo de separação dos grãos, o agregado miúdo possuía as especificações necessárias para a realização do ensaio laboratorial, porém, o agregado graúdo ainda possuía dimensões granulométricas maiores do que necessário para sua aplicação em concretos estruturais. Com a finalidade de reduzir



a granulometria deste material foi realizada uma britagem secundária – britador de mandíbula (Figura 25).

Figura 25 - Britador de mandíbulas para realização da britagem secundária.



Fonte: da autora.

Após a britagem secundária, o material graúdo atingiu a granulometria esperada, sendo ensacado e transportado para o Laboratório de Materiais e Solos (Figura 26).

Figura 26 – Aspecto dos agregados miúdos e graúdos de RSCD para uso no laboratório.



Fontes: da autora.

### 3.1.4.1 Granulometria

Para determinação da granulometria dos agregados graúdos e miúdos, foram realizados os ensaios de acordo com a ABNT (NBR NM 248, 2003). As peneiras e agitador mecânico de peneiras (Figura 27) e o aspecto do agregado graúdo de RSCD após passar por todo o ensaio, com os grãos retidos, estão indicados na Figura 28.

Figura 27 – Peneiras e tampas para ensaio da granulometria e agitador mecânico de peneiras.



Fontes: da autora.

Figura 28 – Finalização do ensaio e quantidade de material graúdo de RSCD restante nas últimas peneiras e fundo.



Fontes: da autora.



Um fator importante a se destacar nesse ensaio foi que não foram realizados movimentos vigorosos com o jogo de peneiras, para que as fases menos resistentes dos agregados não se fragmentassem, a ponto de alterar demasiadamente os resultados do ensaio.

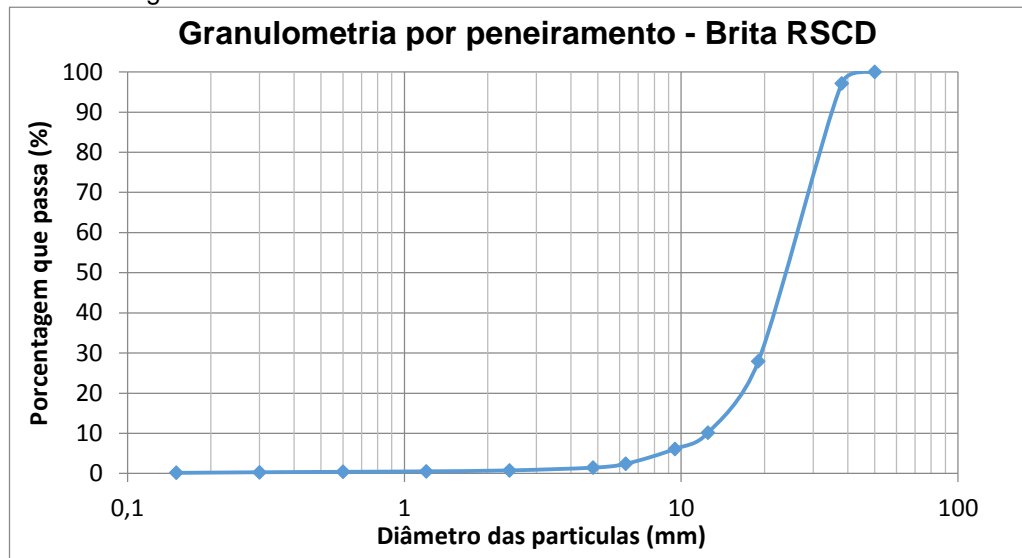
No caso do agregado graúdo de RSCD foi obtida uma classificação de brita 3. A granulometria da brita encontra-se indicada na Tabela 24 e a curva granulométrica na Figura 29.

Tabela 24 – Granulometria da brita de RSCD.

Ensaio com agregados graúdos (brita) - Brita RSCD							
Peneira		Massa da peneira		Massa da amostra	Porcentagem retida	Porcentagem acumulada	Porcentagem que passa
Número	mm	(g)					
		Vazio	Cheio	(g)	(%)	(%)	(%)
2"	50	462,6	462,6	0,0	0,00	0,00	100,00
1.1/2"	38	461,4	525,1	63,7	2,90	2,90	97,10
3/4"	19	437,7	1959,7	1522,0	69,18	72,08	27,92
1/2"	12,5	425,4	816,40	391,0	17,77	89,85	10,15
3/8"	9,5	420,5	509,3	88,8	4,04	93,89	6,11
1/4"	6,3	410,8	492,5	81,7	3,71	97,60	2,40
4	4,8	466,9	487,6	20,7	0,94	98,54	1,46
8	2,4	383,1	398,2	15,1	0,69	99,23	0,77
16	1,2	371,7	376,8	5,1	0,23	99,46	0,54
30	0,6	323,8	326,4	2,6	0,12	99,58	0,42
50	0,3	289,6	292,1	2,5	0,11	99,69	0,31
100	0,15	279,7	283,0	3,3	0,15	99,84	0,16
Fundo	x	361,5	365,0	3,5	0,16	100,00	
Total		5094,7	7294,7	2200,0	100,00		
Módulo de finura:		7,7		Dimensão máxima: 38mm			

Fonte: da autora;

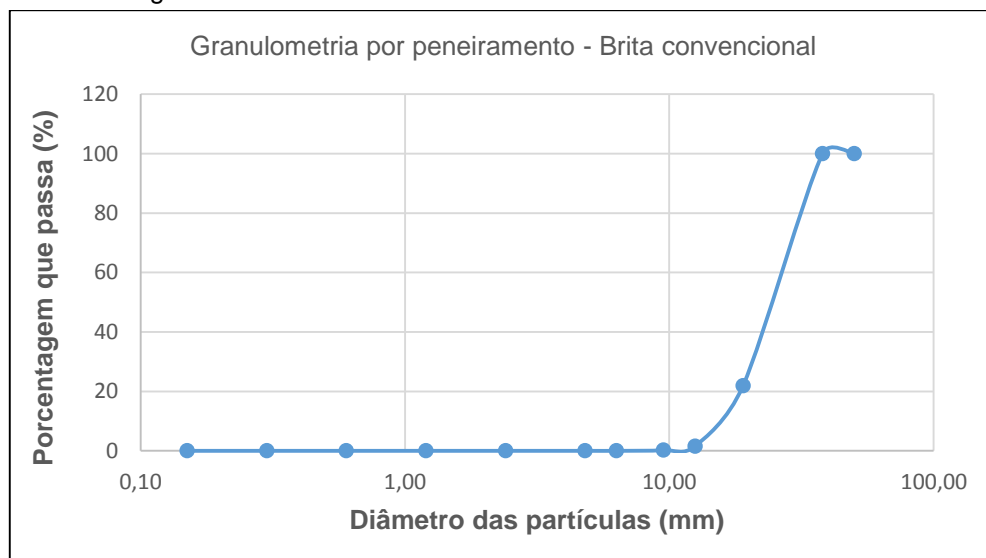
Figura 29 – Curva granulométrica da brita de RSCD.



Fonte: da autora.

No caso do agregado graúdo convencional, foi verificada uma classificação de brita 2, para que os agregados pudessem ter as dimensões parecidas, como parâmetro de comparação na produção do graute e do concreto (Figura 30).

Figura 30 – Curva granulométrica da brita convencional.



Fonte: da autora.

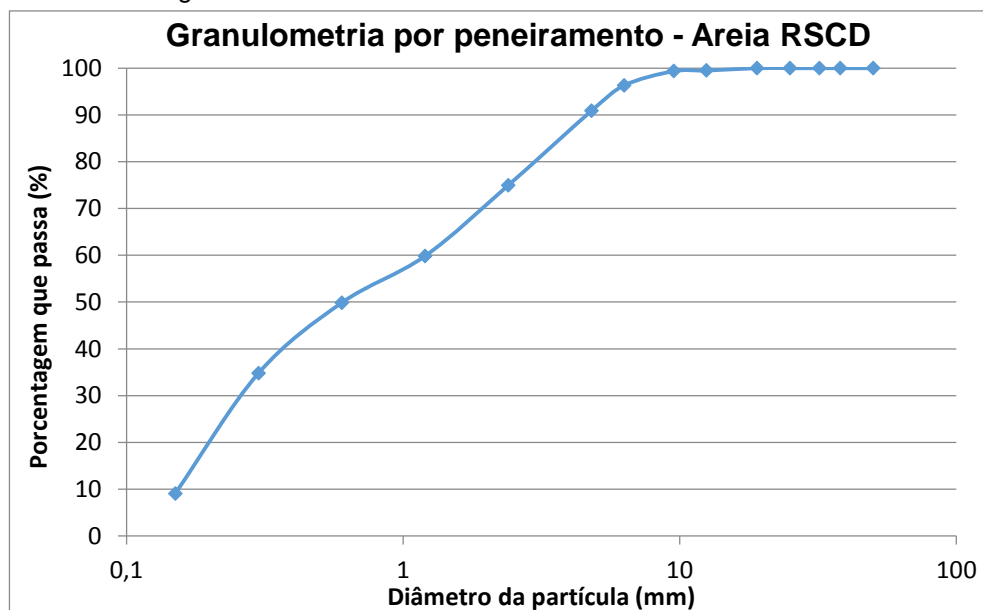
Para o agregado miúdo de RSCD foi obtida uma classificação de areia média. A granulometria da areia encontra-se indicada na Tabela 25, e a curva granulométrica, na Figura 31. Notou-se uma grande porcentagem de partículas retidas na peneira de malha 0,15mm, (em torno de 26%). Já nos agregados naturais a porcentagem retida mais significativa ocorreu na peneira 0,3mm (cerca de 42%).

Tabela 25 – Granulometria da areia de RSCD.

Ensaio com agregados miúdos (areia) – Areia RCD							
Peneira		Massa da peneira		Massa da amostra	Porcentagem retida	Porcentagem acumulada	Porcentagem que passa
Número	mm	(g)					
		Vazio	Cheio	(g)	(%)	(%)	(%)
2"	50	x	x	x	x	x	100
1.1/2"	38	x	x	x	x	x	100
1.1/4"	32	x	x	x	x	x	100
1"	25	x	x	x	x	x	100
3/4"	19	x	x	x	x	x	100
1/2"	12,5	425,2	430,30	5,1	0,51	0,51	99,49
3/8"	9,5	420,4	421,8	1,4	0,14	0,65	99,35
1/4"	6,3	410,7	440,9	30,2	3,02	3,67	96,33
4	4,8	470,2	524,5	54,3	5,44	9,11	90,89
8	2,4	382,9	542,0	159,1	15,93	25,04	74,96
16	1,2	371,6	522,7	151,1	15,13	40,17	59,83
30	0,6	323,7	423,4	99,7	9,98	50,15	49,85
50	0,3	289,5	440,0	150,5	15,07	65,22	34,78
100	0,15	279,5	536,3	256,8	25,71	90,93	9,07
Fundo	x	367,1	457,7	90,6	9,07	100,00	
				998,8	100,00		
Módulo de finura:		2,8		Dimensão máxima: 12,5mm			

Fonte: da autora.

Figura 31 – Curva granulométrica da areia de RSCD.



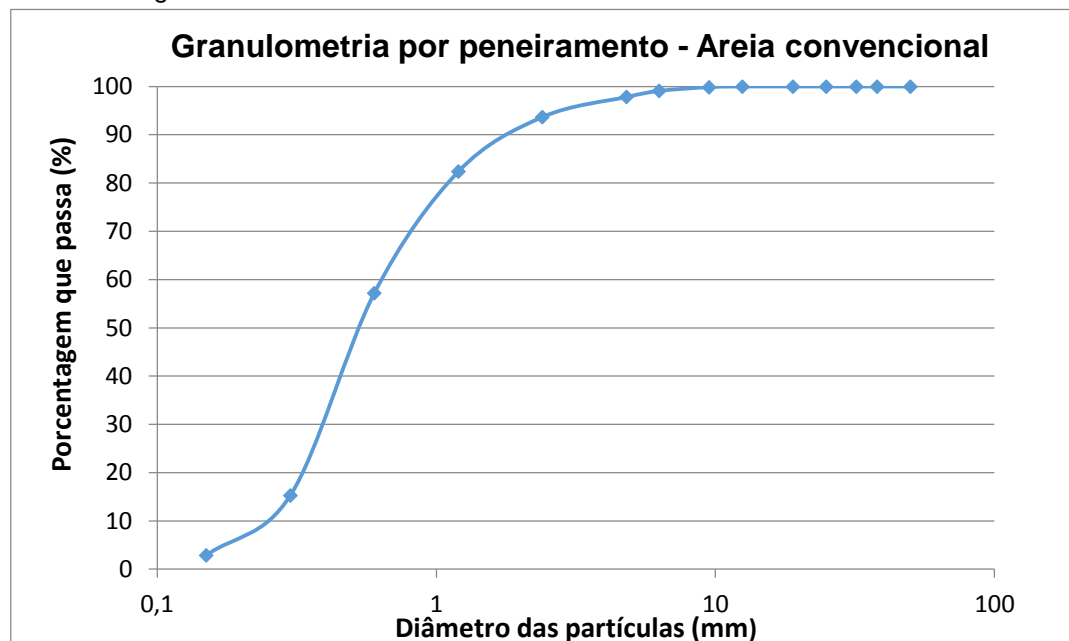
Fonte: da autora.

Na produção do graute e concreto com agregado miúdo convencional foi utilizada uma areia grossa (Figura 32).

Diferente de Buttler (2007), verificou-se de uma maneira geral que os agregados reciclados apresentaram um módulo de finura menor quando comparados com os agregados naturais. Isto se deve à classificação encontrada; por exemplo, no caso da areia de RSCD, que foi classificada como média e a convencional classificada como grossa.

De acordo com o que foi observado, os agregados não apresentaram variações significativas na granulometria, pois, a julgar pelo módulo de finura, o agregado miúdo RSCD mostrou-se mais fino que a areia convencional, porém, dentro do limite esperado de acordo com sua classificação, e pode apresentar curvas granulométricas melhores ainda quando retiradas as parcelas finas.

Figura 32 – Curva granulométrica da areia convencional.



Fonte: da autora.

Apesar de não ter sido realizado o ensaio de material pulverulento, na caracterização granulométrica dos agregados foi verificada a “olho nú” uma grande quantidade do mesmo, o que de acordo com Neville (1997) apud Tenório (2009) pode ser bom para o concreto, pois uma mistura deve ter certa quantidade de material passante na peneira #0,3 para que seja coesiva e trabalhável. Por outro lado, uma grande quantidade de material pulverulento implica numa maior área superficial e, conseqüentemente, maior necessidade de água para lubrificar a

mistura, além de diminuir a durabilidade dos concretos do ponto de vista da resistência ao desgaste por abrasão. (NEVILLE, 1997; LEITE, 1999 apud TENÓRIO (2009)).

#### 3.1.4.2 Absorção de água

Para determinar a absorção de água nos agregados graúdos, foram realizados os procedimentos da ABNT (NBR NM 53, 2003).

Apesar de outros trabalhos não recomendarem, a secagem superficial dos agregados com pano, conforme recomendação normativa, foi feita com cautela para que os mesmos não se fragmentassem, de forma a proporcionar resultados satisfatórios.

Algumas etapas, como a lavagem completa do agregado graúdo para remover o pó, a secagem da amostra de ensaio até massa constante a uma temperatura de  $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$  na estufa (Figura 33), e amostra submersa em água e pesada são apresentados abaixo (Figura 34).

Figura 33 – Lavagem completa do agregado graúdo de RSCD e secagem na estufa dos mesmos.



Fonte: da autora.

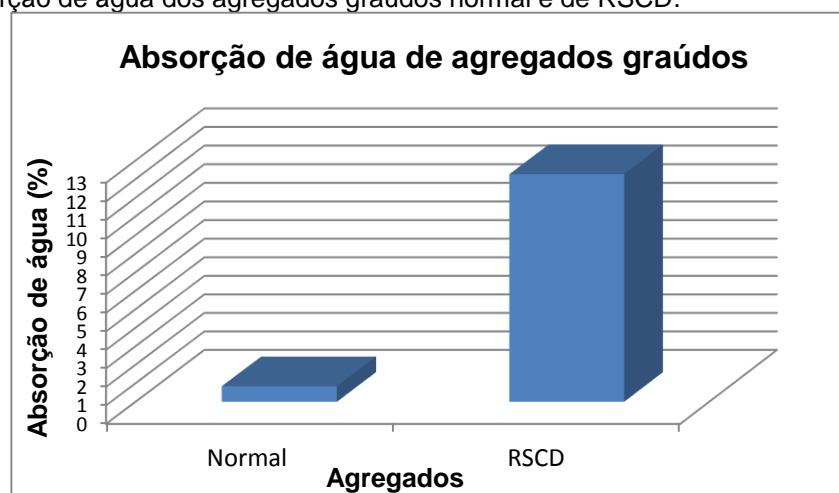
Figura 34 – Pesagem da amostra submersa em água.



Fonte: da autora.

O agregado gráúdo de RSCD absorveu 12,26% de água e o agregado gráúdo normal absorveu apenas 0,84%, quase quinze vezes menos (Figura 35). Este resultado indica que no momento da mistura do concreto, o agregado de RSCD absorverá muito mais água e conseqüentemente haverá a necessidade de repor a mesma, com o objetivo de atingir consistência equivalente, trabalhabilidade e resistência mecânica de concreto utilizando agregados naturais. Este resultado pode variar, dependendo do RSCD utilizado, sua classificação e região.

Figura 35 – Absorção de água dos agregados gráúdos normal e de RSCD.



Fonte: da autora.

Quanto maior o índice de porosidade do agregado, maior será a absorção do mesmo. Como esse resultado já era esperado, levando em consideração as referências bibliográficas estudadas, a solução adotada foi de variar o teor da

relação água/cimento para o concreto com RSCD, com finalidade de analisar o que melhor se aproximaria ao concreto convencional, diante da análise das características citadas no parágrafo anterior.

#### 3.1.4.3 *Massa específica*

O reconhecimento da massa específica dos materiais é de fundamental importância para a dosagem do concreto.

Para a determinação da massa específica dos agregados graúdos de RSCD, foram realizados os procedimentos de acordo com a ABNT (NBR NM 53, 2003). Apesar de outros trabalhos não recomendarem, a secagem superficial dos agregados com pano, conforme orienta o método, tal procedimento foi realizado com cuidado para que os mesmos não se fragmentassem.

No caso dos agregados miúdos de RSCD foram realizados os procedimentos normativos contidos na ABNT (NBR NM 52, 2009). Este ensaio permite medir o volume total ocupado pelos grãos da amostra de agregado, cuja massa é previamente medida em estado seco. Os resultados encontram-se na Tabela 26.

Tabela 26 - Massa específica dos agregados miúdos e graúdos.

Agregado	Massa específica	(g/cm <sup>3</sup> )
Graúdo Convencional	Agregado	2,76
	Agregado saturado na superfície seca	2,78
	Aparente	2,82
Graúdo RSCD	Agregado	1,99
	Agregado saturado na superfície seca	2,24
	Aparente	2,64
Miúdo Convencional	Aparente	2,63
Miúdo RSCD	Aparente	2,57

Fonte: da autora.

Verificou-se também que a massa específica dos agregados sofrem variabilidade em consequência da variação da porosidade, ou seja, tanto o agregado graúdo quanto o agregado miúdo reciclado tiveram massa específica menor, se comparados com os agregados convencionais, confirmando maior porosidade.



Esse maior índice de porosidade dos agregados aponta no sentido de uma menor resistência mecânica em concretos produzidos com RSCD.

Esse resultado mostra também que existe uma tendência de que o material que apresenta maior absorção obtenha menor massa específica, como foi o caso do agregado graúdo de RSCD.

### 3.1.5 Aditivo Hiperplastificante

O aditivo hiperplastificante utilizado foi o GLENIUM 160 SCC da marca BASF. O material foi fornecido pela empresa em forma de amostra grátis (5L).

O GLENIUM 160 SCC é um aditivo para concreto, em forma líquida, pronto para o uso e livre de cloretos e baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado que atua como dispersante do material cimentício, propiciando superplastificação e alta redução de água, tornando o concreto com melhores características. Este aditivo foi desenvolvido para produção de concretos auto-adensáveis (CAA), fluídos e concretos de alto desempenho (CAD), geralmente utilizados na indústria de pré-moldados e concretos protendidos, onde se requer baixo fator A/C, assim como durabilidade e desempenho (Figura 36).

Figura 36- Aspecto do aditivo GLENIUM 160 SCC de cor clara.



Fonte: da autora.



O aditivo é compatível com todos os tipos de cimento Portland e atende aos requisitos da ABNT (NBR 11768), apresentando propriedades e benefícios de acordo com a Figura 37. Outro tipo de preocupação era de que este aditivo fosse compatível com outros aditivos utilizados na fabricação de concretos, pois na fabricação do graute, foi utilizado o Vedalit. O Vedalit é composto basicamente por resinas naturais e o GLENIUM 160 SCC é compatível com todos os aditivos utilizados na fabricação de concretos, exceto com superplastificantes à base de naftaleno sulfonatos, o que não é o caso.

Figura 37- Benefícios e propriedades do aditivo GLENIUM 160 SCC da marca BASF.

Estado Fresco	Estado Endurecido
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta taxa de redução de água (40% aproximadamente);</li> <li>- Aumento da coesão e redução da segregação;</li> <li>- Aumento da trabalhabilidade do concreto;</li> <li>- Não altera o tempo de pega do cimento portland;</li> <li>- Facilita o adensamento e lançamento;</li> <li>- Facilita o bombeamento;</li> <li>- Reduz o fator A/C*;</li> <li>- Reduz os tempos de cura ambiente ou a vapor;</li> <li>- Elevada manutenção de flow.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento da resistência à compressão;</li> <li>- Aumento da resistência à flexão;</li> <li>- Aumento do módulo de elasticidade;</li> <li>- Aumento da durabilidade do concreto;</li> <li>- Proporciona melhor acabamento do concreto endurecido;</li> <li>- Redução de permeabilidade e fissuras.</li> </ul>

Fonte: BASF S/A (2013).

O que diferencia este aditivo dos demais aditivos superplastificantes tradicionais (à base de naftaleno sulfonato ou melamina sulfonada) é o tipo de mecanismo de ação que melhora sensivelmente a dispersão das partículas de cimento. Os polímeros tradicionais normalmente são adsorvidos pelas partículas de cimento; estes recobrem a superfície das partículas no processo de mistura do concreto.

Com esse mecanismo, mesmo durante o início do processo de hidratação do cimento o polímero continua atuando e promovendo a dispersão das partículas. Sendo assim, o aditivo torna-se ótimo para o estudo ora apresentado, pois melhorará visivelmente todas as propriedades do graute e do concreto.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 4.1 Concreto

A variabilidade das propriedades físicas dos agregados reciclados é facilmente percebida nos resultados de caracterização granulométrica, massa específica e absorção vistos anteriormente.

Para que todos os traços produzissem o mesmo volume de concreto, facilitando a comparação dos resultados finais, primeiramente definiram-se os traços de referência em massa e só então foram calculadas as quantidades de cada material, para os concretos convencionais e com RSCD.

A primeira etapa consistiu na escolha de um traço para concreto com agregados normais, estabelecido como parâmetro de comparação quando da confecção de concretos utilizando substituição completa por agregados de RSCD. O traço em massa escolhido para o concreto convencional está indicado na Tabela 27.

Tabela 27: Traço convencional 1.

<b>1 : 2,5 : 1,3 : 0,4 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : teor A/C)</b>
--

Fonte: da autora.

Na escolha dessa composição, foi levada em consideração a necessidade de ser um traço rico, pois sua utilização foi mais nobre, com um teor de argamassa de 73%. A Figura 38 ilustra os agregados graúdos e miúdos convencionais utilizados na execução deste traço, com as propriedades já apresentadas anteriormente nas caracterizações dos materiais e com umidade higroscópica.

Figura 38- Agregados graúdos e miúdos convencionais utilizados na produção do concreto.



Fonte: da autora.

Antes da confecção de cada traço na betoneira, tomou-se o cuidado de “untá-la”, ou seja, produziu-se uma argamassa com areia, cimento e água, apenas para sujar sua parede (Figura 39). O objetivo da produção dessa argamassa é o de que, no momento em que a betoneira receber os componentes do concreto, sua parede não absorva a água utilizada no traço.

Figura 39 – Aspecto da argamassa utilizada e aspecto da betoneira untada com argamassa para recebimento do concreto.



Fonte: da autora.

Conforme o traço foi sendo misturado na betoneira, foi verificado que o concreto não possuía os requisitos mínimos de consistência (Figura 40). De qualquer forma, após a produção do concreto, foram realizados os procedimentos de acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998), com resultado de abatimento no valor de 0mm (Figura 41). Este problema ocasionaria uma baixa resistência mecânica no concreto, entre outras propriedades inadequadas, e portanto, o teor de A/C de 0,4 foi descartado.

Figura 40- Concreto convencional, A/C 0,4, misturado na betoneira.



Fonte: da autora.

Figura 41- Abatimento do concreto com agregados normais e aspecto dos corpos-de-prova com teor de A/C 0,4.

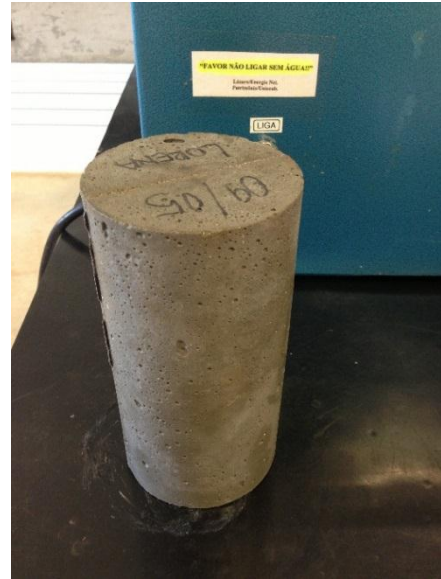


Fonte: da autora.

Na escolha do novo traço, foi apenas alterado o valor do teor de A/C para 0,55, com o objetivo de que o traço escolhido apresentasse melhor consistência. Após a produção do concreto, foi avaliada a aglomeração dos materiais e verificou-se um abatimento no valor de 70mm (Figura 42).



Figura 42 - Abatimento do concreto com agregados normais e aspecto dos corpos-de-prova com teor de A/C 0,55.



Fonte: da autora.

Diante de tais resultados, o traço escolhido em massa para o concreto convencional está indicado na Tabela 28:

Tabela 28 - Traço do concreto convencional definido.

<b>1 : 2,5 : 1,3 : 0,55 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : teor A/C)</b>
---

Fonte: da autora.

Com a definição do traço para o concreto com agregados convencionais, a próxima etapa do programa experimental consistiu na análise de 04 traços de concreto utilizando agregados provenientes de RSCD (totalizando 45 corpos-de-prova) e mais um traço com RSCD e aditivo, com a mesma proporção de agregados miúdos e graúdos em relação ao traço do concreto de referência, variando apenas nos teores de A/C (Tabela 29).

Tabela 29- Nomenclatura do programa experimental realizado com concretos.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita	A/C	Agregado	Quantidade de CP's
1	1	2,5	1,3	0,40	Convencional	9
2	1	2,5	1,3	0,55	Convencional	9
3	1	2,5	1,3	0,55	RSCD	9
4	1	2,5	1,3	0,60	RSCD	9
5	1	2,5	1,3	0,65	RSCD	9
6	1	2,5	1,3	0,70	RSCD	9
7	1	2,5	1,3	Teor A/C com melhores propriedades	RSCD + Aditivo	9

Fonte: da autora.

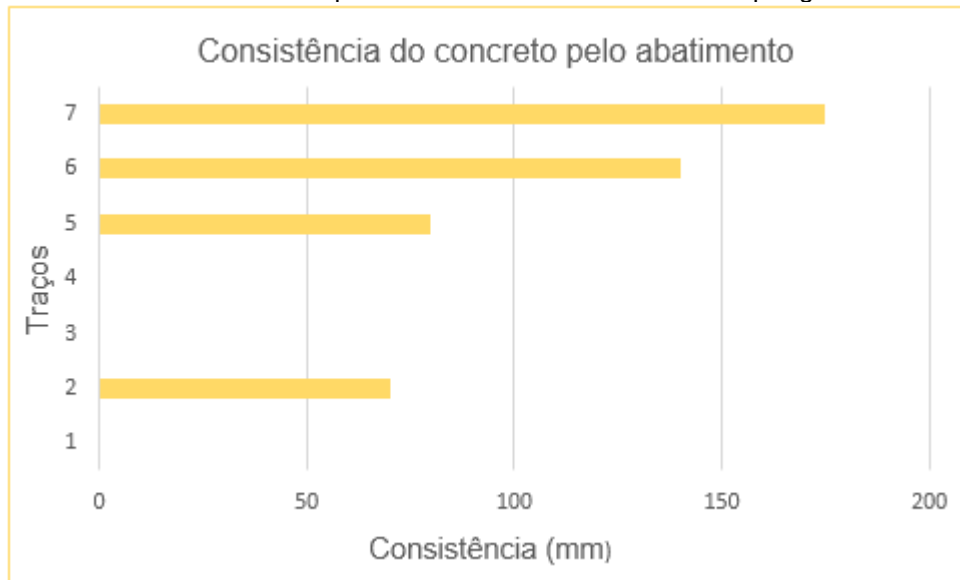
A variação da relação A/C teve como objetivo proporcionar uma melhor avaliação das características do concreto com agregados de RSCD, principalmente sua consistência e trabalhabilidade. Os resultados do abatimento do tronco de cone após a produção de cada concreto na betoneira, realizado de acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998), estão indicados na Tabela 30 e Figura 43.

Tabela 30- Consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone.

Traço	Agregados (grãos e miúdos)	Classificação do concreto	Traço (kg)	Abatimento (mm)
3	RSCD	Experimental	1 : 2,5 : 1,3 : 0,55	0
4	RSCD	Experimental	1 : 2,5 : 1,3 : 0,60	0
5	RSCD	Experimental	1 : 2,5 : 1,3 : 0,65	80
6	RSCD	Experimental	1 : 2,5 : 1,3 : 0,70	140
7	RSCD + ADITIVO	Experimental	1 : 2,5 : 1,3 : 0,65	175

Fonte: da autora.

Figura 43 – Consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone por gráfico.



Fonte: da autora.

Observou-se no decorrer dos ensaios que o traço convencional com teor de A/C 0,55 obteve uma aglomeração muito melhor do concreto que o traço de RSCD com o mesmo teor, devido à maior absorção de água dos agregados de RSCD (Figura 44).

Figura 44: Abatimento do concreto com agregados RSCD e aspecto dos corpos de prova com teor de A/C 0,55.



Fonte: da autora.

Essa diferença de abatimento se deve à absorção de água do agregado RSCD em comparação ao agregado convencional. De maneira geral, foi observado que quanto maior o teor A/C, melhor a consistência do concreto com agregado de RSCD, como no caso dos teores A/C 0,6 e A/C 0,7 (Figura 45).

Figura 45: Abatimento do concreto com agregados RSCD com teor A/C 0,6 e 0,7.



Fonte: da autora.

Na comparação dos traços com RSCD de teor A/C 0,6 e 0,7, houve uma diferença de 140mm no abatimento, ou seja, com apenas 0,854 litros a mais de



água o traço no teor A/C 0,7 obteve-se uma grande melhora nesta propriedade que os anteriormente analisados.

O traço com o teor A/C 0,65 foi o que melhor se aproximou do abatimento do traço convencional; este foi a relação escolhida para o estudo do traço com aditivo. O aditivo escolhido foi um hiperplastificante (Tópico 3.1.5). Levou-se em consideração a necessidade de adicionar o aditivo apenas ao final da mistura dos componentes do concreto, pois o mesmo começa a reagir assim que entra em contato com os outros componentes (água, cimento, etc.). A dosagem de aditivo utilizada foi a de 1,2% sobre o peso do cimento (s.p.c.).

Realizou-se o ensaio de abatimento de acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998), assim que se observou que o concreto produzido tinha atingido a plasticidade junto ao aditivo (Figura 46).

Nota-se que mesmo após atingir a plasticidade, o aditivo continuou atuando e promovendo a dispersão das partículas. Em menos de um minuto a amostra de concreto utilizada para a medição teve seu abatimento ampliado pela dispersão das partículas de concreto. Como a medição segundo a norma é imediata, considerou-se o valor de 175mm de abatimento, ou seja, um valor muito superior ao mesmo traço sem aditivo, com valor de 80mm. Isso tudo se deve ao fato de o aditivo hiperplastificante ter entre seus benefícios a redução de 40% aproximadamente no uso da água, aumento da coesão e redução da segregação, aumento da trabalhabilidade do concreto, além de proporcionar a redução da relação A/C.

Figura 46: Abatimento do concreto com teor A/C 0,65 e aditivo hiperplastificante.



Fonte: da autora.



## 4.2 Graute

A realização do ensaio experimental do graute foi mais amplo quando comparado com o concreto. Durante o estudo do traço, observou-se que algumas revisões bibliográficas não aconselhavam a utilização da cal em sua composição. Por isso, realizaram traços com e sem cal, para avaliação de suas propriedades junto ao graute.

A primeira etapa consistiu na escolha de um traço para realização do ensaio de abatimento de acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998), diretamente com agregado miúdo de RSCD, com quatro valores para a relação A/C, buscando um abatimento com valor de  $200 \pm 30$ mm. Na realização desses traços, utilizou-se o aditivo Vedalit na substituição da cal.

A betoneira não foi “untada” para produção do graute como no caso do concreto, mas isso ocorreu em todos os traços, para que não houvesse diferença de resultados. Dentre os quatro traços realizados, o com teor A/C que melhor se aproximou do valor de abatimento procurado foi adotado como referência para a comparação do graute com RSCD e cal, além dos traços com RSCD, cal e aditivo e dos traços com agregado convencional e aditivos, totalizando 81 corpos de prova (Tabela 31).

A variação da relação A/C, assim como na produção do concreto, teve como objetivo avaliar a melhor consistência e trabalhabilidade para o graute com agregados de RSCD e com aditivos. O aspecto geral dos agregados miúdos de RSCD e convencionais estão apresentados na Figura 47.

Tabela 31 - Traços para preparo do graute

Graute								
Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Cal (kg)	Vedalit (l)	Aditivo (kg)	A/C	Classificação	CP's
1	1,371	2,41	0	0,023	0	0,78	RSCD+ Vedalit	9
2	1,371	2,41	0	0,023	0	0,74	RSCD+ Vedalit	9
3	1,371	2,41	0	0,023	0	0,65	RSCD+ Vedalit	9
4	1,371	2,41	0	0,023	0	0,57	RSCD+ Vedalit	9
5	1,371	2,41	1	0	0	0,57	RSCD+ Cal	9
6	1,371	2,41	1	0	0,10464	0,57	RSCD+ Cal + hiperplastificante	9
7	1,371	2,41	0	0,023	0,10464	0,57	RSCD+Vedalit+ hiperplastificante	9

8	1,371	2,41	0	0,023	0	0,57	Areia convencional + Vedalit	9
9	1,371	2,41	1	0	0	0,57	Areia convencional+ Cal	9

Fonte: da autora.

Figura 47- Aspecto do agrego miúdo RSCD e agregado miúdo convencional utilizado na produção do graute.



Fonte: da autora.

Os resultados do abatimento do tronco de cone após a produção de graute na betoneira estão indicados na Tabela 32, e para melhor visualização dos mesmos, na Figura 48.

Tabela 32- Consistência do graute pelo abatimento do tronco de cone.

Traço	Classificação	A/C	Novo teor A/C	Abatimento (mm)
1	RSCD + Vedalit	0,78	x	280
2	RSCD + Vedalit	0,74	x	260
3	RSCD + Vedalit	0,65	x	240
4	RSCD + Vedalit	0,57	x	180
5	RSCD + Cal	0,57	0,95	260
6	RSCD + Cal + aditivo hiperplastificante	0,57	0,78	260
7	RSCD + Vedalit + aditivo hiperplastificante	0,57	x	275
8	Areia convencional + Vedalit	0,57	x	250
9	Areia convencional + Cal	0,57	x	170

Fonte: da autora.

Figura 48 – Consistência do graute pelo abatimento do tronco de cone em gráfico.



Fonte: da autora.

O Traço 1 obteve um abatimento muito superior ao esperado (280mm), devido ao elevado valor da relação A/C e, portanto, o traço acabou prejudicado em algumas propriedades como trabalhabilidade e consistência, como pode ser visto na Figura 49.

Figura 49 – Consistência do graute no Traço 1 com teor A/C 0,78 dosado na betoneira;



Fonte: da autora.

Por essa razão é tão importante a realização dos ensaios com variações no teor A/C. No segundo traço, pode-se verificar um menor valor para o abatimento (260mm), além de ter atingido melhor consistência (Figura 50).



Figura 50- Consistência do graute no Traço 2 com teor A/C 0,74 e aspecto do corpo de prova.



Fonte: da autora.

Para o traço 3, foi visível junto ao Vedalit o efeito do decréscimo de um litro de água na mistura, com a consequente melhora na consistência do graute, com abatimento no valor de 240mm (Figura 51).

Figura 51- Consistência do graute no Traço 3 com teor A/C 0,65 e abatimento de 240mm.



Fonte: da autora.

O Traço 4 obteve um abatimento de 180mm e foi o que melhor se aproximou ao valor de  $200 \pm 30$  procurado (Figura 52). Isso se deve à redução significativa no teor A/C, lembrando que todos os outros componentes do graute foram os mesmos.



Dessa forma, foram realizados os demais traços utilizando como parâmetro o valor da relação A/C igual ao do Traço 4 (Tabela 33).

Figura 52- Abatimento do graute do Traço 4.



Fonte: da autora.

O Traço 5 foi o primeiro traço realizado sem Vedalit, utilizando a cal como componente. Ocorreu que a cal, junto aos outros componentes do graute, reteve toda a água da mistura, deixando a mistura com aspecto de “farofa” (Figura 53) em função da finura da material.

Figura 53 - Aspecto do graute no Traço 5 com teor A/C 0,57.



Fonte: da autora.

Diante de tal efeito, foram adicionados consecutivamente volumes fixos de 500ml de água, até que obtivesse uma consistência adequada (Figura 54) para realização do ensaio de abatimento, de acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998). Foram 4,5l a mais de água no Traço 5, modificando o teor A/C para 0,95 com um abatimento de 260mm.

Figura 54- Aspecto do graute no Traço 5 com teor A/C 0,95.



Fonte: da autora.

No caso do Traço 6, quando da mistura dos componentes na betoneira, observou-se que, mesmo inserindo-se o aditivo GLENIUM 160 SCC como último componente da mistura, não foi o suficiente para adquirir a consistência adequada (Figura 55). Logo, foi repetido o procedimento de adição de volumes de 500 ml de água até que o abatimento adequado fosse atingido. Foi observado que conforme o aditivo foi reagindo com os componentes da mistura, adquiriu um aspecto “plástico” e a cada segundo esse aspecto tornou-se mais evidente, a ponto de parecer um chiclete. Isso indica que o graute rodado na betoneira estava atingindo o aspecto de hiperplasticidade.

Foram 2,5L a mais de água no Traço 6, modificando o teor A/C para 0,78 com um abatimento de 260mm (Figura 56). O valor do abatimento pode parecer alto em relação ao valor que foi citado como ideal ( $200 \pm 30$ mm), porém, ocorre que ao inserir 500ml de água, o aditivo reage junto aos compostos na betoneira, mudando completamente seu aspecto.



O mesmo foi observado no Traço 5, em que o acréscimo de 4L de água não tinha obtido ainda boa aglomeração dos compostos, e após a adição de mais 500ml, passou a ter ótima consistência, ultrapassando até o valor esperado.

Figura 55- Aspecto do graute no Traço 6 com teor A/C 0,57 e adição de água para atingir melhor consistência.



Fonte: da autora.

Figura 56 - Abatimento do graute do Traço 6 com teor A/C 0,78.



Fonte: da autora.

Nota-se que todos os traços anteriores, que tiveram o Vedalit em sua composição, não tiveram necessidade de inserção de água; pelo contrário, a mistura adquiria consistência logo que entrava em contato com o mesmo. Isso se deve ao

fato de o Vedalit fazer com que ocorra menor exsudação da mistura. Já o GLENIUM 160 SCC reduz o tempo de cura.

Dessa forma, foi realizado o Traço 7, fazendo a junção desses dois aditivos, tendo como cuidado a combinação dos dois compostos. O Vedalit é constituído basicamente por resinas naturais e o GLENIUM 160 SCC é compatível com todos os aditivos utilizados na fabricação de concretos, exceto superplastificantes à base de naftalenos sulfonatos, o que não é o caso, como citado anteriormente na metodologia.

O resultado foi bem satisfatório, sendo que não houve necessidade de adição de água no teor A/C 0,57, com abatimento de 275mm (Figura 58). Observa-se que este valor de abatimento foi 95mm maior se comparado ao Traço 4, atingido apenas com adição do aditivo GLENIUM 160 SCC. Na figura 57, observa-se que em segundos o material se dispersou na chapa no momento de ensaio.

Figura 57- Abatimento do graute do Traço 7.



Fonte: da autora.

No Traço 8 o valor medido do abatimento foi de 250mm. Se comparado ao Traço 4, houve uma diferença de 70mm a mais, e esse resultado é bem peculiar, uma vez que o traço foi o mesmo, com substituição apenas do tipo de agregado miúdo (usou-se o convencional no traço 8), responsável por tamanha diferença (Figura 58).

O RSCD utilizado na substituição dos agregados miúdos (areia) absorveu mais água presente na composição, se comparado ao agregado convencional, por



isso tornam-se tão importantes os ensaios laboratoriais dos agregados presentes na composição.

No Traço 9 foi encontrado um abatimento da mistura de 170mm (Figura 59), também com a utilização da areia convencional junto à cal, não sendo necessário acréscimo de água durante o processo de mistura. O Traço 9 possui a mesma composição do Traço 5, com substituição do agregado de RSCD pela areia convencional.

Figura 58- Comparação dos abatimentos do graute do Traço 8 e do Traço 4.



Fonte: Da autora.

Figura 59- Abatimento do graute no Traço 9 (Areia convencional + cal).



Fonte: da autora.

Observou-se em geral que os traços que possuíam RSCD como agregado necessitaram de mais água, comparados aos traços com agregados convencionais. Logo, pode-se dizer que RSCD provenientes de diferentes regiões e/ou demolições possuirão necessariamente características particulares, mesmo que classificados como de mesma classe pela Resolução 307 do CONAMA, necessitando assim todo o procedimento de caracterização específica.

## 5 RESULTADOS

Após a moldagem dos corpos de prova de concreto e de graute de acordo com a ABNT (NBR NM 67, 1998), os mesmos ficaram armazenados em um tanque para cura (Figura 60). Todos os CP's possuíam dimensões 10x20cm (diâmetro x altura).

Figura 60 - Tanque para armazenamento dos corpos de prova de concreto e graute.



Fonte: da autora.

### 5.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão normal é uma das propriedades mais analisadas quando se trata da tecnologia do concreto, cujos resultados estão diretamente relacionados com a relação A/C, dentre outros fatores.

Os corpos de prova de concreto e graute foram ensaiados de acordo com a ABNT (NBR 5739, 2007), de acordo com as respectivas idades definidas no programa experimental. Na realização dos ensaios, foram utilizados discos de neoprene (Figura 61) para apoio e regularização das superfícies dos corpos de prova. Para cada idade (3, 14 e 28 dias) foram ensaiados 3 exemplares por traço de concreto e graute.

Figura 61- Discos de neoprene para regularização dos CP's (Tabela inserida).






Fonte: da autora.

### 5.1.1 Concreto


Observou-se na realização dos ensaios de compressão dos corpos de prova cilíndricos que as rupturas variaram muito em sua classificação de acordo com a ABNT (NBR 5739, 2007), como pode ser visto na tabela 33. Foram levadas em consideração as rupturas na idade de 28 dias.

Tabela 33 – Classificação por tipos de ruptura de corpos de prova do concreto.

Traço	Classificação	Imagem
1	Tipo B – Cônica e bipartida	

2	Tipo D – Cônica e cisalhada	
3	Tipo D – Cônica e cisalhada	
4	Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento	
5	-	-
6	-	-



7	Tipo D – Cônica e cisalhada	
---	-----------------------------	---

Nota: Os Traços 5 e 6 não possuíam fotos com boa resolução para serem adicionadas à tabela.

Fonte: da autora.

Nota-se uma tendência de que quanto menor o teor A/C do traço, maior o índice de vazios observado na superfície do CP. Na compressão desses concretos mais porosos observou-se o início de colapso a partir de algum agregado gráudo (brita). Já os concretos com maiores teores A/C em sua composição, tiveram uma melhor distribuição das tensões quando na realização dos ensaios, sofrendo apenas o cisalhamento no momento da ruptura. No caso do traço quatro, houve fratura no topo devido ao desnível da superfície por conta da presença de agregado gráudo e, no momento da ruptura, as tensões foram concentradas para este ponto.

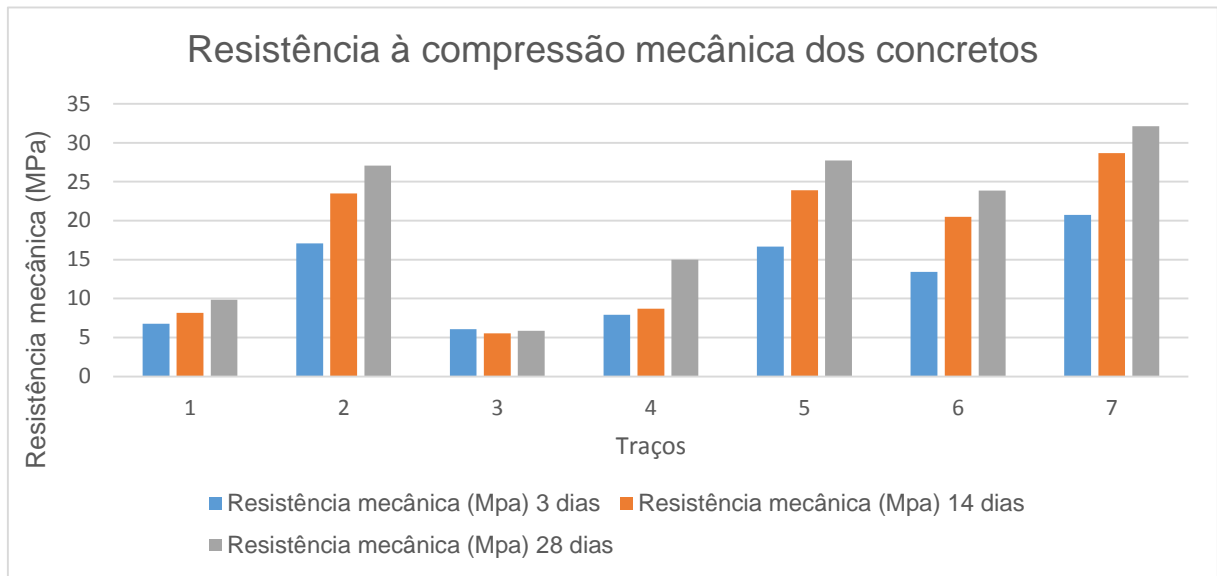
Os resultados da resistência à compressão mecânica dos concretos estão apresentados na Tabela 34 e Figura 62. Observa-se que o traço com RSCD que melhor obteve resistência mecânica foi com a relação A/C de 0,65. Se comparado ao traço “padrão” convencional escolhido, obteve aproximadamente a mesma resistência, com 28 MPa aos 28 dias de idade com um desvio padrão de 0,7MPa.

Tabela 34 – Resistência à compressão mecânica dos concretos.

Traço	Classificação	Resistência mecânica (MPa)			Desvio padrão 28 dias
		3 dias	14 dias	28 dias	Fck (MPa)
1	Convencional/anulado	6,8	8,2	9,9	17,2
2	Convencional – A/C 0,55	17,1	23,5	27,1	0
3	RSCD – A/C 0,55	6,1	5,5	5,9	21,2
4	RSCD – A/C 0,60	7,9	8,7	15	12,1
5	RSCD – A/C 0,65	16,7	23,9	27,7	0,7
6	RSCD – A/C 0,7	13,5	20,5	23,8	3,2
7	RSCD – A/C 0,65 + Aditivo	20,8	28,7	32,1	5,1

Fonte: da autora.

Figura 62 – Resistência à compressão mecânica dos concretos em gráfico.



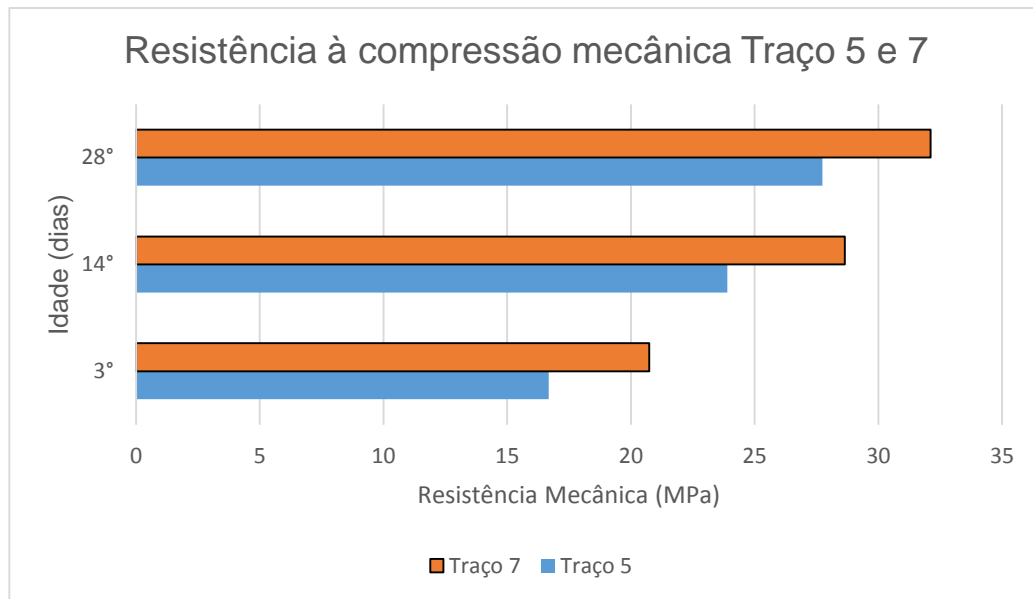
Fonte: da autora.

Estes resultados indicam que, além do teor de água/ cimento ser um fator fundamental no controle tecnológico do concreto, os concretos com agregados de RSCD diferem dos que utilizam agregados convencionais quanto a proporção ideal deste fator. A avaliação do acréscimo da relação A/C nos traços de concreto com RSCD foi realizado com base nas características de consistência e adensamento.

Por isso, faz-se necessário a avaliação de alguns teores A/C como foi realizado neste trabalho, com o objetivo de se obter um resultado preciso no traço de RSCD se comparado ao traço convencional.

Como já eram esperadas melhores propriedades (consistência, resistência mecânica, etc.) do concreto no teor A/C 0,65, foi realizado então um traço com aditivo hiperplastificante, como apresentado anteriormente. Observa-se que a resistência mecânica aumentou consideravelmente para aproximadamente 32MPa (Figura 63).

Figura 63- Resistência à compressão mecânica dos concretos nos Traço 5 e Traço 7.



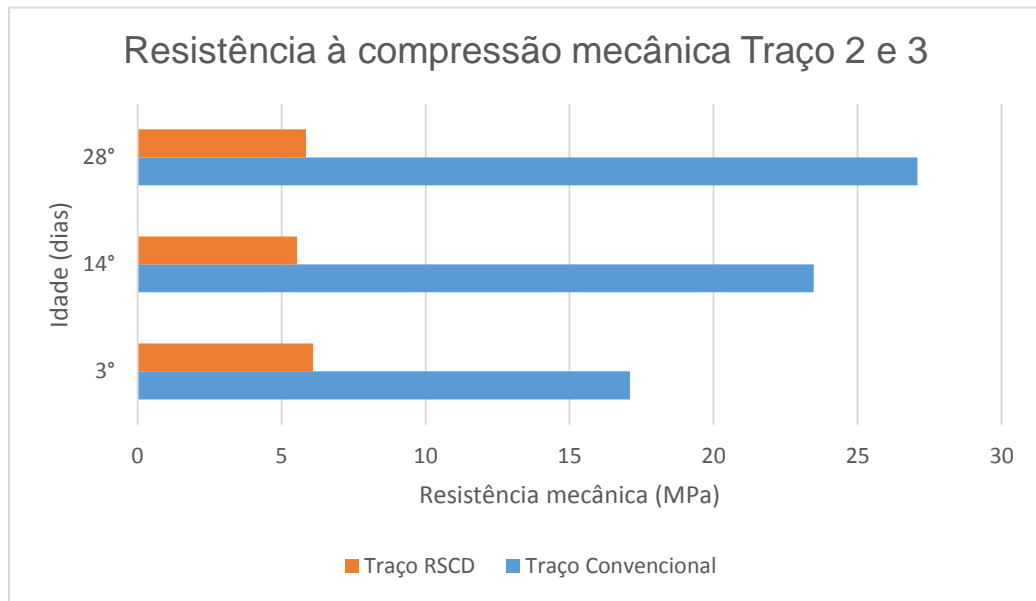
Fonte: da autora.

Este valor foi obtido apenas pelo acréscimo do aditivo hiperplastificante, levando em consideração que os materiais utilizados foram os mesmos no traço. Outro fator importante, foi que o Traço 7 mostrou uma resistência inicial maior se comparado aos outros traços realizados e uma menor taxa de crescimento nas idades subsequentes.

No caso do Traço 2 (convencional) realizado com RSCD (relação  $A/C=0,65$ ), obteve-se uma resistência muito inferior se comparado ao mesmo traço produzido com agregados convencionais (Figura 64). Este baixo valor do Traço 3 se deve à falta de aglomeração dos materiais pelo baixo teor de  $A/C$  na mistura, resultando em uma baixa consistência do concreto realizado e automaticamente de difícil trabalhabilidade para moldagem, com alto índice de vazios (Figura 65).



Figura 64- Resistência à compressão mecânica dos concretos nos Traço 2 e Traço 3.



Fonte: da autora.

Observa-se também que no caso do Traço 3, houve um decréscimo na resistência mecânica na idade de 14 e 28 dias. Este valor se deve a consistência inadequada da mistura pois observou-se diferenças significativas de vazios dentro dos corpos de prova moldados após os ensaios de ruptura.

Figura 65— Ruptura na idade de 14 dias dos CP's do traço convencional (1:2,5:1,3:0,55) de agregados convencionais e de RSCD.








Fonte: da autora.




### 5.1.2 Graute

Nos ensaios de compressão axial dos corpos de prova cilíndricos de graute observou-se as mesmas variações de resultado do concreto, nas quais as rupturas variaram muito de acordo com a ABNT (NBR 5739, 2007), como pode ser visto na Tabela 35. Foi levada em consideração a ruptura dos CP's na idade de 28 dias.

Tabela 35– Classificação por tipos de ruptura de corpos de prova do graute.

Traço	Classificação	Imagem
1	Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento	
2	Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento	

3	Tipo F – Fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento	
4	Tipo D – Cônica e cisalhada	
5	Tipo D – Cônica e cisalhada	

6	Tipo E – Cisalhada	
7	Tipo D – Cônica e cisalhada	
8	Tipo G – Similar ao tipo F com fraturas próximas ao topo	

Fonte: da autora.

No caso dos grautes observou uma similaridade na tendência de ruptura dos CPs de mesmo traço em todas as idades. No caso do Traço 1, 2 e 3, observa-se que houve fraturas no topo e/ou na base abaixo do capeamento, indicando que o material não distribuiu tão bem as tensões em sua ruptura, já sofrendo fraturas no

topo. Este fator pode ser explicado pela quantidade de finos presentes no graute e também em alguma possível falha nos discos de neoprene.

Nos outros traços, principalmente os com aditivo hiperplastificante, observa-se que a tensão foi bem distribuída, sofrendo assim cisalhamento na maioria dos casos.

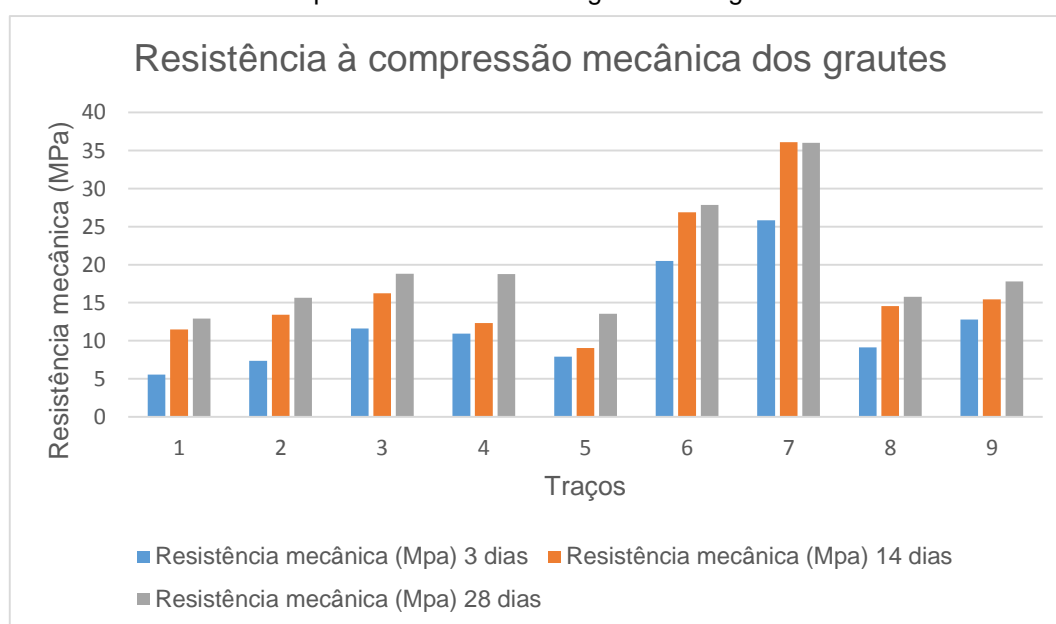
Os resultados da resistência à compressão mecânica dos grautes estão apresentados na Tabela 36 e Figura 66.

Tabela 36 – Resistência à compressão mecânica dos grautes.

Traço	Classificação	Resistência mecânica (MPa)			Desvio Padrão 28 dias
		3 dias	14 dias	28 dias	Fck (MPa)
1	RSCD + Vedalit - A/C 0,78	5,5	11,5	12,9	2,9
2	RSCD + Vedalit - A/C 0,74	7,4	13,4	15,6	0,1
3	RSCD + Vedalit - A/C 0,65	11,6	16,2	18,8	3,1
4	RSCD + Vedalit - A/C 0,57	11	12,3	18,8	3
5	RSCD + Cal - A/C 0,95	7,9	9	13,6	2,2
6	RSCD + Cal + Aditivo hiperplastificante - A/C 0,78	20,5	26,9	27,9	12,1
7	RSCD + Vedalit + Aditivo hiperplastificante - A/C 0,57	25,9	36,1	36	20,2
8	Areia Convencional + Vedalit - A/C 0,57	9,2	14,6	15,8	0
9	Areia Convencional + Cal - A/C 0,57	12,8	15,5	17,8	2,0

Fonte: da autora.

Figura 66 – Resistência à compressão mecânica dos grautes em gráfico

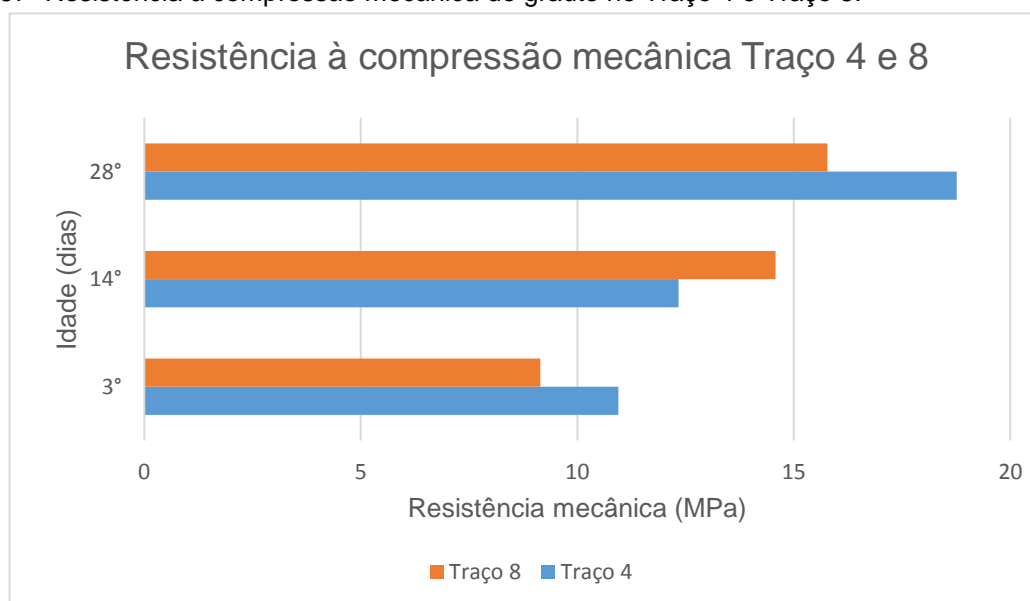


Fonte: da autora.

Observa-se que o traço de RSCD que melhor obteve resistência mecânica foi o Traço 7. Se comparado ao Traço 8 (“padrão” convencional escolhido), obteve um desvio padrão 20,241 MPa. Este alto valor de desvio padrão, deve-se ao fato do Traço 7 ter sido produzido com a junção de dois aditivos, melhorando as propriedades do concreto, além dos diferentes índices de absorção entre o agregado miúdo de RSCD e areia convencional.

O Traço 8 (“padrão” convencional escolhido) obteve uma resistência menor se comparado ao Traço 4, com um desvio padrão de 3MPa (Figura 67). Este caso torna-se peculiar pelo fato de o traço produzido com RSCD ter dado maior resistência mecânica se comparado ao traço produzido com agregados convencionais, o que durante todo o desenvolvimento deste trabalho, não ocorreu sem adição de algum aditivo ou aumento do teor A/C.

Figura 67- Resistência à compressão mecânica do graute no Traço 4 e Traço 8.



Fonte: da autora.

Este resultado pode ser atribuído pelo fato do Vedalit ter aglomerado melhor na mistura com o agregado de RSCD se comparado ao agregado convencional (Figura 68).

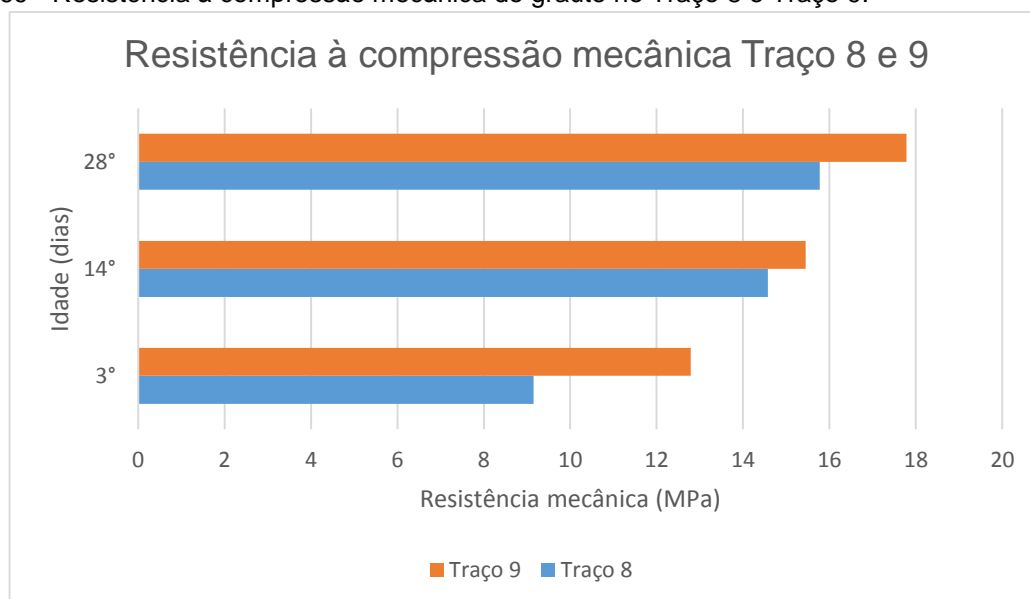
Figura 68 – Ruptura na idade de 28 dias dos CP's de graute do Traço 4 e Traço 8.



Fonte: da autora.

A cal utilizada para a produção do Traço 9 como substituição do Vedalit no Traço 8, mostrou melhores resultados de resistência mecânica (Figura 69). Existia uma preocupação da utilização da cal quando na produção de grautes, porém, nota-se nesta melhores resultados para esta propriedade.

Figura 69 - Resistência à compressão mecânica do graute no Traço 8 e Traço 9.



Fonte: da autora.



## 5.2 Módulo de elasticidade

O concreto endurecido é um material que pode ser considerado como pseudo-sólido, pois contém esqueleto sólido, água e ar. Estes dois últimos componentes respondem por parcelas importantes de suas propriedades, nas quais estão incluídas as deformações sob cargas, tanto a imediata como a lenta, e as deformações independentes da ação de cargas como a retração hidráulica. Sob a ação de cargas externas e também do peso próprio, o concreto apresenta deformações e, ao contrário do aço, não obedece à lei de Hooke, conduzindo a um diagrama tensão-deformação curvo.

Embora não obedeça à lei de Hooke, considera-se convencionalmente a existência do módulo de elasticidade do concreto. De acordo com a ABNT (NBR 6118, 2003), o tópico 8.2.8 permite calcular o módulo de elasticidade pela equação abaixo:

$$E_{Ci} = 5.600 \cdot f_{ck}^{1/2} \quad (1)$$

Onde:

$E_{Ci}$  = Módulo de Elasticidade Inicial (MPa)

$f_{ck}$  = Resistência a compressão característica (MPa)

Dessa forma, os valores do Módulo de Elasticidade para cada traço de concreto e graute podem ser calculados com os dados que foram obtidos até agora (Tabela 37 e Tabela 39).

Tabela 37 – Módulo de elasticidade dos concretos.

Módulo de elasticidade do concreto		
Traço	Fck (MPa)	Módulo (GPa)
1	9,9	17,6
2	27,1	29,1
3	5,9	13,5
4	15	21,7
5	27,7	29,4
6	23,8	27,3
7	32,1	31,8

Fonte: da autora.



Tabela 39 – Módulo de elasticidade dos grautes.

Módulo de elasticidade do graute		
Traço	Fck (MPa)	Módulo (GPa)
1	12,9	20,1
2	15,6	22,1
3	18,8	24,2
4	18,8	24,2
5	13,6	20,7
6	27,9	29,6
7	36	33,6
8	15,8	22,2
9	17,8	23,6

Fonte: da autora.

Observa-se que assim como a resistência à compressão mecânica, o Módulo de Elasticidade é maior quanto menos poroso for o agregado, ou seja, tem uma influência direta em suas características. É importante ressaltar que a fórmula utilizada para o cálculo do Módulo de Elasticidade da norma não reflete a realidade, o ideal seria ter realizado o ensaio laboratorial nos CP's.

## 6 CONCLUSÕES

Com base na comparação dos compostos produzidos com agregados de RSCD e convencionais, os resultados obtidos com agregados miúdos e graúdos de RSCD demonstram viabilidade do uso destes materiais para fins de utilização estrutural e como forma atrativa de reciclagem, levando-se em consideração a necessidade do reaproveitamento dos resíduos, de acordo com a resolução 307 de 2002 do CONAMA.

Tendo em vista que as variações da relação A/C estão diretamente relacionadas à resistência dos concretos, verificou-se para o traço com agregados de RSCD que a relação A/C de 0,65 apresentou o melhor desempenho em termos de resistência mecânica, com um valor aproximado de 28 MPa aos 28 dias. Com a adição de aditivo hiperplastificante, este valor subiu para 32 MPa, ou seja, este concreto também pode ser utilizado na substituição de um concreto defeituoso ou deteriorado (recuperação estrutural), levando-se em consideração a maior afinidade possível com o concreto base a ser restituído (em concretos com média de 32 MPa de resistência).

No caso do graute, verificou-se também através de suas variações do teor A/C que a relação de 0,57 no Traço 4 obteve melhor propriedade em termos de consistência, trabalhabilidade e resistência mecânica, com aproximadamente 19 MPa na idade de 29 dias. Com a adição dos ativos hiperplastificante e plastificante, foi obtido um valor aproximado de 36 MPa. De acordo com Tula (Entre 1998 e 2010) este graute pode ser classificado como:

- “Estrutural de resistência média”, para utilização em reparos localizados de 25 a 300m de profundidade, em estruturas de concreto com resistência abaixo de 40 MPa e em pequenos reparos de pisos.
- “De baixo módulo”, para uso preferencial em reparos generalizados com elevada relação área/volume, reparos de pavimentos e reparo de fundo de vigas e similares.

Para estas duas classificações, foram levadas em consideração as características principais, como sendo um micro-concreto e sua resistência mecânica dentro dos valores exigidos. Este graute, por conter aditivo hiperplastificante e plastificante, possui uma alta resistência inicial se comparado

aos traços sem, permitindo que haja uma rápida liberação do elemento grauteado, facilitando o processo de reparação da estrutura como um todo.

Segundo a ABNT (NBR 15961-1, 2011), este graute pode ser utilizado para elementos de alvenaria armada, pois a resistência à compressão mecânica deve ser especificada com valor mínimo de 15 MPa.

Claro que apenas a resistência mecânica não é suficiente para avaliar se estes compostos podem ser ou não empregados no caso de recuperação estrutural, porém, os compostos além de terem sido produzidos com ótimas propriedades, cumprem um objetivo muito importante existente na maioria dos casos de recuperação estrutural: a recomposição de seções degradadas, onde existirá limitação nas dimensões dos agregados. Dessa forma, a granulometria dos agregados graúdos de RSCD utilizados na produção do concreto deste trabalho não possibilita a sua utilização em pequenas áreas de recuperação, já o graute produzido pode ser utilizado em pequenas e grandes áreas.

Portanto, levando-se em consideração que cada região possui diferentes tipos de resíduos produzidos, além das especificidades de uma obra para outra dentro de uma mesma região, faz-se necessário um rigoroso processo de triagem. A triagem é uma forma de separar os RSCD com maior teor de concreto no composto para sua reutilização com finalidades mais “ricas”, como apresentado na proposta deste trabalho, que possui 80% de resíduos de concreto em sua composição.

Além disso, após a triagem, é fundamental a análise e caracterização por meio de ensaios laboratoriais dos agregados graúdos e miúdos de RSCD, para fins de produção e utilização em concretos e micro-concretos estruturais.

## **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Por conta das limitações do trabalho e diante das necessidades verificadas, a seguir são apresentadas sugestões para a continuação e complementação do trabalho realizado:

- Realizar o ensaio de absorção de agregado miúdo de RSCD, levando-se em conta a alta absorção de água verificada nos ensaios apresentados no trabalho, podendo-se assim, caracterizar ainda mais os materiais, evitando perdas de material e de tempo, caso a proposta seja utilizada.

- Realizar novos traços de concreto e graute com maiores teores de A/C, podendo-se assim estudar novas possibilidades de dosagem dos materiais.
- Realizar traços de concreto e graute com diferentes aditivos (plastificantes, retardadores de pega e etc.), possibilitando avaliar as diferentes propriedades obtidas.
- Realizar traços com diferentes porcentagens de substituições dos agregados convencionais pelos agregados de RSCD, analisando-se qual obtém as melhores propriedades, o que trará mais uma viabilidade de uso.
- Relacionar as características de resistências à compressão com teor de material pulverulento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUTTLER, Alexandre Marques. *USO DE AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO EM BLOCOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL*. 2007. 499f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezzera. *Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil*. Fortaleza: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará, 2011.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Brasil: ABRELPE, 2012.

Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. Brasil: ABRECON, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregado graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água: ABNT NBR NM 53. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados: Determinação da composição granulométrica: ABNT NBR NM 248. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios: ABNT NBR NM 45. Rio de Janeiro, RJ : ABNT, 2006.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente: ABNT NBR NM 52. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: ABNT NBR NM 67:1998. Uruguai: ABNT 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova: ABNT NBR 5738:2003. Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: ABNT NBR 5739:2007, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projetos de estruturas de concreto: Procedimento: ABNT NBR 6118:2002, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Alvenaria Estrutural: Blocos de concreto: Parte 1: Projeto. ABNT NBR 15961-1:2011, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Alvenaria Estrutural: Blocos de concreto: Parte 2: Execução e controle de obras. ABNT NBR 15961- 2:2011, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2011

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland composto: Especificação. ABNT NBR 11578: 1991, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1997.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland resistentes a sulfatos. ABNT NBR 5737: 1992, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Aditivos químicos para concreto de cimento Portland: Requisitos. ABNT NBR 11768:2011, Rio de Janeiro, RJ: ABNT 2011.

Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 307 de 2002: Dispõe sobre resíduos da construção civil. Brasília, DF: CONAMA, 2002.

SILVA, Erick Almeida. *TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO*. 2006. 84f. Monografia – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima. *AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO VISANDO APLICAÇÕES ESTRUTURAIS*. 2007. 157f. Tese (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

TULA, Leonel. *GRAUTES PARA REPARO*. Denver Global, São Paulo-SP: Entre 1998 e 2010.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de construção 1*. 5ª ed. São Paulo: LTC Ltda, 2000.

LEITE, Mônica Batista. *AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO*. 2001. 270f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.



HABIB, Ricardo Cezar Mello Mattos et al.. PRODUÇÃO DE CONCRETOS ATRAVÉS DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA PROVENIENTE DE BRITAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO VERMELHO. Instituto Brasileiro do Concreto, Curitiba- PR, 51º Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON: 2009.

Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Ceará, CE: SINDUSCON, 2011.

LEVY, Salomon Mony. *CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS, PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CONCRETO E ALVENARIA*. 2001. 184f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli. DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CONCRETO E ARGAMASSA EM AGREGADOS GRAÚDOS DE RCD RECICLADOS. Instituto Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, 43º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON: 2001.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira, RIPPER, Thomaz. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. 1ª Ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009.